



Janne Peltola

Raitiliikenteen nopeusrajoitukset

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 15.10.2018

Valvoja: Apulaisprofessori Milos Mladenovic

Ohjaajat: DI Jouni Ojala ja DI Lauri Kangas

Tekijä Janne Peltola

Työn nimi Raitioliikenteen nopeusrajoitukset

Maisteriohjelma Maankäytön suunnittelu ja liikenne-
tekniikka

Koodi ENG26

Työn valvoja Apulaisprofessori Milos Mladenovic

Työn ohjaajat DI Jouni Ojala ja DI Lauri Kangas

Päivämäärä 15.10.2018

Sivumäärä 72 + 2

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Raitioiteita ollaan Suomessa rakentamassa nyt 2010- ja 2020-luvuilla enemmän kuin koskaan lähes sataan vuoteen. Tampereen raitiotie on rakenteilla, pääkaupunkiseudulle tulevan Raide-Jokerin rakentamissuunnittelu on käynnissä ja Turussa odotetaan päätöstä raitiotien rakentamisesta. Nämä raitiotiet on kaikki haluttu suunnitella puhtaalta pöydältä verrattuna Helsingin nykyiseen raitiotiejärjestelmään. Ajonopeudet edellä mainituilla raitioiteilla tulevat olemaan Helsingin olemassa olevaa raitiotietä suuremmat, samoin sujuvuus- ja turvallisuustavoitteet tulevat olemaan Helsingin vastaavia korkeammat. Jotta näiden raitioiteiden suunnittelu puhtaalta pöydältä onnistuisi, niin kannattaa – ja on hyödyllistä perehtyä – muualla Länsi-Euroopassa käytössä oleviin suunnitteluohjeisiin ja -normeihin ja selvittää näiden soveltamisen edellytyksiä suomalaisissa olosuhteissa.

Tämän työn tarkoituksena on ollut osana tätä prosessia tutkia raitioliikenteen nopeusrajoitusten määrittelyyn ja merkitsemiseen liittyviä käytäntöjä erityisesti muissa Länsi-Euroopan maissa sekä muissa liikennemuodoissa. Työ koostuu sekä kirjallisuustutkimuksesta, tutustumismatkoista että haastatteluista – ja näiden analyysistä. Lisäksi case-esimerkkinä toimii Tampereen raitiotiehanke, jonka liikenteenohjauksen suunnitteluun tämän työn tekijä on osallistunut.

Tutkimuksen perusteella olisi parasta merkitä erikseen raitioliikenteen nopeusrajoitukset kaikentyyppisille radoille. Tällöin raitioliikenteen nopeudet saataisiin mahdollisimman lähelle optimaalisia ilman, että liikenneturvallisuus siitä kärsisi. Katuradoilla kuitenkin haasteina ovat raitiovaunukuljettajien huono työergonomia – ja siitä seuraava tarkkaavaisuuden herpaantuminen – sekä toisaalta tilanpuute katutilassa.

Rataluokkiin pohjautuva järjestelmä selkeyttäisi raitioiteiden suunnittelua ja nopeusrajoitusten määrittelyä. Vuoden 2020 kesäkuusta alkaen, uuden tieliikennelain tultua voimaan, Suomessa lienee mahdollista määrittää muusta liikenteestä erotellun raitiotien nopeusrajoitus itsenäisesti, toisin sanoen viereisen ajoradan nopeusrajoituksesta riippumatta.

Jatkotoimenpiteinä ehdotetaan suunnitteluohjeistuksen laatimista erityisesti muusta liikenteestä kevyesti erotetuille raitioiteille, sekä yleiseksi toimintamalliksi nopeusrajoitussuunnitelman laatimista viimeistään raitiotien yleissuunnitelmavaiheessa. Tällöin katuverkon liikennejärjestelyjä voidaan vielä sopeuttaa raitiotien halutun nopeus- ja turvallisuustason saavuttamiseksi. Liikennetelematiikan ja automaation kehitys avaa myös kiinnostavia näkymiä raitioliikenteen nopeusrajoituskysymyksiin.

Avainsanat Raitioliikenne, nopeusrajoitus, rataluokka



Author Janne Peltola

Title of thesis Speed limits for tramways

Master's Programme Spatial Planning and Transportation Engineering

Code ENG26

Thesis supervisor Assistant Professor Milos Mladenovic

Thesis advisors M. Sc. Jouni Ojala & M. Sc. Lauri Kangas

Date 15.10.2018

Number of pages 72 + 2

Language Finnish

Abstract

There is something of a light rail boom nowadays here in Finland, with more new tram tracks being built than at any other time in the last hundred years. The Tampere tramway is under construction, the Raide-Jokeri in Helsinki metropolitan area is under detailed planning and it has also been proposed that Turku must have a tramway in the future. There is also a common will to wipe the slate clean of old planning guidelines in all of these projects compared to the current practices used in the Helsinki tram system. The average speeds in all of these new tramways would be higher than those of the current tram system in Helsinki. Also it is desired that in these new systems both traffic safety and punctuality should be better than has so far been realised at Helsinki. In order for this to happen, it is necessary for the planners and authorities to examine for design guidelines and statutes in some of Western European countries.

The purpose of this study has been to find out - in a few countries in Europe - common practices for defining and marking the speed limits for tramways. This study is based on a literature review, a few excursions and some interviews, including the analysis based on them. The tramway project in Tampere is a case-example, as the author of this thesis has participated in the planning process of that project.

Based on this study, it seems that it would be better to have individual speed signs for every speed zone along the whole tramway network. This would make it possible to drive trams nearly at optimum speed without risking the traffic safety. However, there will be some problems locating enough space for speed signs along in-street tracks. Also work ergonomics would be questionable, if the speed signs were, for instance, mounted on the catenary system.

The classification of the track types would clarify and would simplify greatly the definitions of speed stones the definition of speed. After 1st of June 2020 it will be possible to clearly define "segregated" and "independent" tram track formations here in Finland. This makes it possible to define the speed limits independently from other traffic at these track formations.

A further recommendation is the formulation of the design guidelines especially for segregated tramways and also guidelines for defining a speed plan at the same time as a master plan for tramway is being processed. This gives us the possibility to design the street network in a way that it will support the targets set for the tramway system. It seems also that there could be interesting possibilities for exploiting the benefits of transport telematic systems and robotisation.

Keywords Tramway, speed limit, track formation

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Rakennetun ympäristön laitoksella Helsingin kaupunkiympäristön toimialan ehdotuksesta. Helsingin raitiotieverkolle suunnitellut merkittävä laajennushankkeet ja uudentyypiset liikennöintiympäristöt ovat aiheuttaneet tarvetta tarkastella raitioliikennettä säätelevää säännöstöä ja raitioliikenteen liikennöintikäytäntöjä laajemminkin. Nopeusrajoituksiin liittyvä ohjeistus on osa tätä kokonaisuutta.

Haluan kiittää työn valvojaa apulaisprofessori Milos Mladenovicia sekä työn ohjaajia Jouni Ojalaa ja Lauri Kangasta. Erityisesti haluan kiittää Virpi Ojalaa tuesta ja kannustuksesta opintojeni loppuunsaattamisesta.

Suuret kiitokset kuuluvat myös vanhemmilleni sekä veljelleni Juusolle ja hänen vaimolensa Lauralle. Unohtamatta myöskään ystäviäni ja opiskelutovereitani sekä Aalto-yliopistosta että aiemmasta opiskelupaikastani Helsingin yliopistolta. Lisäksi haluan kiittää HKL:n aikaisia työtovereitani kokonaisuudessaan. Näinä vuosina saamani työkokemus raitioliikenteen parissa erilaisissa työtehtävissä antoi osaltaan pohjaa tämän diplomityön tekemiselle. Samoin Tampereen raitiotiehankkeen suunnitteluun osallistuminen on tuonut arvokasta tietoa raitioteiden liikenteenohjauksen suunnittelussa ilmenevistä käytännön ongelmista. Kiitos teille Tampereen Raitiotie Oy:n ja Tampereen Raitiotieallianssin väki! Unohtamatta myöskään HKL:n raitiovaununkuljettajakurssia II/2004, josta kaikki oikeastaan alkoi.

Espoo 15.10.2018

Janne Peltola

Janne Peltola

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Lyhenteet	6
1 Johdanto	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Työn tavoitteet	8
1.3 Tutkimuskysymykset.....	8
1.4 Tutkimuksen rajaus	9
2 Tutkimusmenetelmät	10
2.1 Sidosryhmähaastattelut.....	10
2.2 Kirjallisuustutkimus ja tutustumismatkat	11
2.3 Vaihtoehtojen muodostaminen	11
2.4 SWOT-analyysi.....	11
3 Käsitteet	12
4 Raitioliikennettä koskeva säättely Suomessa.....	17
4.1 Raitioliikennettä koskeva lainsäädäntö ja viranomaismääräykset Suomessa.....	17
4.2 HKL:n ohjeet koskien raitioliikennettä ja raitioteiden suunnittelua Helsingissä .	18
4.3 Uusi tieliikennelaki	22
5 Nopeusrajoitusten perusteita ja käytäntöjä eri liikennemuodoissa sekä muiden maiden raitioliikenteessä.....	24
5.1 Rautatieliikenne Suomessa	24
5.2 Helsingin metro.....	27
5.3 Tie- ja katuliikenne.....	27
5.4 Raitioliikenteen nopeusrajoituksia koskevat määräykset muualla Euroopassa....	34
5.5 Muita raitioliikenteen nopeusrajoituksiin vaikuttavia tekijöitä	35
5.6 Raitioliikenteen nopeusrajoitusten ilmoittaminen	41
6 Rataluokat nopeusrajoitusten perusteena	47
6.1 Yleistä.....	47
6.2 Rataluokkien kuvaukset.....	49
6.3 Erotetun radan teknisistä vaatimuksista	55
7 Tampereen raitiotie esimerkkitapauksena.....	57
7.1 Lähtökohdat nopeusrajoitusten suunnittelulle hankkeessa.....	57
7.2 Suunnittelussa kohdattuja haasteita.....	57
8 Raitioteiden nopeusrajoituskäytäntöjen analyysi	61
8.1 Haastattelujen ja keskustelujen tulokset SWOT-analyysiin sovitettuna	61
8.2 SWOT-analyysin tulokset raitioteiden nopeusrajoitusten määrittämiseen.....	61
9 Tulosten arviointi ja johtopäätökset	64
9.1 Rataluokkiin pohjautuva järjestelmä.....	64
9.2 Kokemukset Tampereen projektista.....	64
9.3 SWOT-analyysin keskeiset löydökset.....	65
9.4 Liikennetelematiikan hyödyntämismahdollisuuksia	65
9.5 Tuoreiden eurooppalaisten raitiotiehankeiden kokemusten hyödyntäminen	65
9.6 Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	66
9.7 Jatkotoimenpide-ehdotukset	67
Lähdeluettelo.....	68

Lyhenteet

ATO	Automatic Train Operation
BLFA BOStrab	Bund-Länderfachausschuss BOStrab
BMV	Bundesministerium für Verkehr
BMWV	Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
FTA	Federal Transit Administration
HKL	Helsingin Kaupungin Liikenneliikelaitos
HSL	Helsingin Seudun Liikenne
HUD	Head-Up Display
JKV	Junien kulunvalvonta
Jt	Junaturvallisuussäntö
KVL	Keskivuorokausiliikenne
KYMP	Helsingin kaupunkiympäristön toimiala
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
RATO	Ratatekniset ohjeet
STO	Semi-automatic Train Operation
STRMTG	Le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
TCRP	Transit Cooperative Research Program
Trafi	Liikenteen turvallisuusvirasto
TRStrab	Technische Regeln für Straßenbahnen
TRI	Trafiksäkerhetsinstruktion
VBZ	Verkehrsbetrieb Zürich
VDV	Verband Deutsche Verkehrsunternehmen

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Raitioliikennettä ollaan Suomessa laajentamassa 2010-luvulla merkittävästi enemmän kuin koskaan sitten 1920- ja 1930-lukujen. Helsingissä raitiotieverkkoa on viimeksi laajennettu merkittävästi 1980-luvun jälkipuoliskolla sekä 2000- ja 2010-lukujen vaihteessa (Pertilä 2016) ja Turussa silloista raitiotieverkkoa laajennettiin viimeisen kerran merkittävästi 1930-luvulla ennen kuin raitioliikenne lakkautettiin kokonaan Turusta 1970-luvun alussa (Laaksonen 2008). Helsingissä taas on 1930-luvun jälkeen purettu joitakin vanhimmista rataosista, mutta toisaalta laajennettu raitiotieverkkoa Pasilaan, Pikku-Huopalahteen, Arabianrantaan, Vallilaan, Kamppiin sekä Jätkäsaareen. Nämä laajennukset ovat kuitenkin olleet luonteeltaan hyvin pitkälle perinteistä keskustaraitiotietä ja pituudeltaan enimmillään yhden–kahden kilometrin mittaisia.

Vasta nyt 2010-luvulla on Raide-Jokerin, Laajasalon raitiotien sekä Tampereen raitiotien myötä Suomessa ryhdytty suunnittelemaan ja rakentamaan sellaista raitiotierataa, joka kulkee pitkiä matkoja esikaupunkialueella pääkatujen tai maanteiden rinnalla tai jopa kokonaan erillään katu- ja tieverkosta.

Tämä asettaa raitiovaununkuljettajat uudenlaiseen tilanteeseen. Tähän asti liikenneympäristö on yleensä melko selvästi kertonut raitiovaunulle sopivan nopeustason, mutta tulevaisuudessa raitiovaununkuljettajille tulee Suomessa eteen tilanteita, joissa raitiovaunu tulee katuverkon ulkopuolelta esimerkiksi aukiolle tai tonttikadulle ja raitiovaunulla on nopeutta 50–70 km/h.

Helsingin Mäkelänkadun kaltaisen puistokadulla kulkevan rataosuuden suhteen voidaan perustellusti kysyä, voidaanko raitiovaununkuljettajan olettaa tietävän, kuinka suurella nopeudella hän saa raitiovaunua kuljettaa. Jos raitiovaununkuljettaja ei kykene havaitsemaan kadun yleisiä nopeusrajoitusmerkkejä, joutuu hän päättämään käyttämänsä ajonopeuden radan näkemien, pysäkkivälin, radan geometrian, radan kunnon, sään ja kelin, raiteella mahdollisesti olevien vaihteiden sekä ajamansa vuoron aikataulun perusteella. Jos edellä mainitut parametrit sopivat yhteen kadun yleisen nopeusrajoituksen kanssa, niin raitiovaunun kuljettaja tulee ikään kuin automaattisesti ajaneeksi olosuhteisiin nähden turvallisella nopeudella. Joissakin tilanteissa raitiotien nopeusrajoituksen tulisi kuitenkin olla kadun yleistä nopeusrajoitusta alempi, jos esimerkiksi tasoristeyksen tai tasoliittymän näkemäalueet ovat riittämättömät, eikä näkemäalueiden riittämättömyyttä voida tasoristeyksen tapauksessa kompensoida turvalaitteilla (varustamalla tasoristeys tarvittaessa puomeilla). Toisaalta vaikka kadun yleistä nopeusrajoitusta alennettaisiin, niin raitiotien nopeusrajoituksen alentaminen ei välttämättä olisi tarpeellista. Kummassakin tapauksessa raitiotielle tarvittaisiin erilliset nopeusrajoitusmerkit kertomaan turvallisesta ajonopeudesta raitiovaununkuljettajalle.

Toisena esimerkkinä olkoon Helsingin raitioteiden nykyisen vaihteenkääntötavan takia vastavaihteisiin asetettu 10 km/h nopeusrajoitus. Tämän takia Helsingissä vastavaihteissa ei myöskään ole tarvittu erillisiä nopeusrajoituksia vaihteissa suoralle ja poikkeavalle raiteelle menevälle raitioliikenteelle. Tämän luvun alussa mainituilla uusilla rataosuuksilla suunnittelun lähtökohdat ovat kuitenkin sellaiset, että vastavaiheissa suoralla raiteella käy-

tettävää ajonopeutta ei haluta vaihteenohjaustekniikan puolesta rajoittaa, joten tulee tarve merkittä nopeusrajoitukset eri ajosuunnille.

Myös autoilijoille, pyöräilijöille ja jalankulkijoille syntyy uudenlaista liikenneympäristöä. Raitiovaunu ei enää olekaan se hiljakseen autoliikenteen kanssa samalla kaistalla tai keskellä katua kulkeva, nostalginen joukkoliikenneväline. Raitiovaunu voi ilmestyä kulman takaa totuttua suuremmalla nopeudella näkyviin ja kaupunkialueella katuympäristöön saat-
taa ilmestyä samanlaisia liikennevaloja kuin rautateiden tasoristeyksissä on, eli jotka vaihtuvat vilkkuvasta valkoisesta suoraan vilkkuvaksi punaiseksi ja vaativat tienkäyttäjää pysähtymään. Toisin sanoen jatkossa on mahdollista rakentaa myös Suomeen sellaisia raitio-
teitä, jotka muistuttavat enemmän rautatietä, kuin kaupungin kadulla kulkevaa raitiotietä.

Uudentyyppiset radat aiheuttavat haasteita myös raitioteiden suunnitteluun: Raitiovaunujen ajonopeuksien kasvaessa on ryhdyttävä miettimään liikennejärjestelyjä ja turvalaiteratkai-
suja uudella tavalla, ja jos valmiita suunnitteluohjeita ei ole, tai niitä ei voida syystä tai toisesta suoraan hyödyntää, niin koko järjestelmä joudutaan suunnittelemaan alusta asti.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää Länsi-Euroopassa käytettyjä periaatteita raitioliikennettä kos-
kevien nopeusrajoitusten määrittely- ja merkitsemiskäytännöille kirjallisuustutkimusten, haastattelujen sekä maastokäyntien avulla. Tämän lisäksi tutkimuksessa käydään läpi lii-
kenneturvallisuuteen, raitiovaunukuljettajien työergonomiaan sekä radan suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyviä näkökohtia siltä osin, kuin näillä on vaikutusta
raitoliikenteen nopeusrajoitusten määrittelyyn ja merkitsemiseen. Tapaustutkimuksena toimii Tampereen raitiotien ensimmäinen vaihe, jonka liikenteenohjauksen suunnitteluun
tämän diplomityön tekijä on osallistunut. Näiden tutkimusten pohjalta määritellään muu-
tama eri vaihtoehto raitioliikenteen nopeusrajoituskäytäntöjen vaihtoehtoiksi ja laaditaan
näistä SWOT-analyysi. Tavoitteena on myös laatia suosituksia raitioliikenteen nopeusra-
joituksia koskeviksi käytännöiksi Suomessa.

1.3 Tutkimuskysymykset

Varsinaisia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Tarvitaanko erillisiä raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituksia?
- Missä olosuhteissa voidaan olettaa kadun yleisen nopeusrajoituksen olevan riit-
tävä merkintätapa?
- Onko nopeusrajoitusten merkitseminen pistemäisiin kohteisiin riittävää?
- Mitä vaikutuksia raitioliikenteen käyttämien ajonopeuksien tason yhtenäistämi-
sellä on yleiseen liikenneturvallisuuteen?
- Tarvitaanko tasoliittymiin tai raitioliikenteen tasoristeyksiin pistemäisiä no-
peusrajoituksia?

Peruskysymys on tietysti se, tarvitaanko erillisiä raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituk-
sia ylipäänsä. Raitiovaunun kulkiessa samoilla kaistoilla muun liikenteen kanssa ei raitio-
vaunu voi ajaa muuta liikennettä merkittävästi nopeammin tai hitaammin, koska muuten
syntyy konfliktitilanne. Kävelykadun tapaisessa ympäristössä yleinen varovaisuusperiaate
rajoittaa raitiovaunujen käyttämiä ajonopeuksia.

Ajoradan reunassa olevan nopeusrajoitusmerkin voitaneen ajatella olevan riittävän hyvin raitiovaununkuljettajan havaittavissa, jos raitiotien ja nopeusrajoitusmerkin väliin jää vain yksi ajokaista. Kahden ajokaistan tapauksessa on jo hieman epäselvää, kuinka helposti ajoradan reunassa oleva nopeusrajoitusmerkki jäisi raitiovaunun kuljettajan näkökentän ulkopuolelle.

Jos raitiotie on taas täysin eristetty muusta liikenteestä aidoin ja risteämiset tapahtuvat eri tasossa, niin raitiovaunujen ajonopeutta rajoittavat lähinnä radan kaarteet, pysäkkien väliset etäisyydet sekä käytössä olevat turvalaitteet.

Haasteellisimpia ratatyyppejä nopeusrajoitusten määrittelyn ja merkitsemisen kannalta ovat sellaiset rataosuudet, joissa raitiotie kulkee samassa katutilassa, mutta kuitenkin erillään muusta liikenteestä muuten paitsi tasoliittymissä ja raitioliikenteen tasoristeyksissä. Tällöinkin pysäkkiväli usein rajoittaa raitioliikenteen suurimpia käyttökelpoisia ajonopeuksia, mutta erityisesti nyt 2000-luvulla, kun kaupunkialueilla on alennettu ja harkitaan yhä monin paikoin alennettavaksi entisestään ajoneuvoliikenteen nopeusrajoituksia, niin nopeusrajoituskysymys on tullut aiempaa ajankohtaisemmaksi.

Pistemäisistä nopeusrajoituksista on hyötyä vaihteiden, tasoliittymien tai raitioliikenteen tasoristeysten kaltaisten pistemäisten, toisin sanoen pituudeltaan lyhyiden, kohteiden turvallisuusriskien vähentämiseen. Liian tiheässä olevat pistemäiset nopeusrajoitukset ovat kuitenkin henkisesti kuormittavia ajoneuvon tai raitiovaunun kuljettajalle ja muuttunutta nopeusrajoitusta ei välttämättä huomaa tai sen voi unohtaa stressitilanteessa (Trivector 2013). Toisaalta valvonnan puuttuessa nopeusrajoituksia noudatetaan joka tapauksessa puutteellisesti.

1.4 Tutkimuksen rajaus

Tämän työn kirjallisuustutkimusosiossa pyritään selvittämään, onko Länsi-Euroopan maissa kansallisia, alueellisia tai paikallisia ohjeita raitioliikennettä koskevien nopeusrajoitusten merkitsemiseksi rataverkolle, vai onko rajoitusten merkitsemisperiaatteet jätetty rataverkon ylläpitäjän harkintavaltaan.

Kahteen Länsi-Euroopan raitiotiekaupunkiin tehtyjen tutustumismatkojen avulla taas pyritään muodostamaan käsitys siitä, miten raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituksia on käytännössä merkitty maastoon.

Haastattelujen avulla pyritään selvittämään eri toimijoiden näkemyksiä siitä, millä tavoin raitioliikenteen ajonopeuksia pitäisi Suomessa säädellä sekä viestiä raitiovaununkuljettajille vai olisiko parempi jättää sekä rataverkon ylläpitäjälle että raitiovaununkuljettajille asiassa mahdollisimman suuri harkintavalta.

Tässä työssä ei käsitellä raitioliikenteelle sallittaviin ajonopeuksiin liittyviä liikenne- ja turvalaiteteknisiä seikkoja muuten kuin kaarrenoepsien osalta, sekä yleisellä tasolla jäljempänä esitettävän rataluokka-jaottelun avulla. Myöskään nopeusrajoitusmerkkien ulkonäköön ei oteta kantaa muuten kuin periaatetasolla.

Yhtenä oleellisena asiana tutkimuksessa on tarkastella muusta liikenteestä erotetun radan käsitettä ja pyrkiä määrittelemään teoreettiset perusteet tämänkaltaiselle ratatyypille. Erotetulla radalla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa katutilassa kulkevaa rataa, jota kuitenkin tarkastellaan ikään kuin katutilassa kulkevana rautatienä, eikä vain eri tavalla päällystettyinä ajokaistoina.

2 Tutkimusmenetelmät

Työhön sisältyi sekä kirjallisuustutkimusta, haastatteluja että esimerkkitapauksena osallistuminen Tampereen raitiotiehankkeessa liikenteenohjauksen suunnitteluun. Ensinnäkin pyrittiin kirjallisuustutkimuksen avulla selvittämään pääsääntöisesti Länsi-Euroopassa olevia käytäntöjä ja säädöksiä raitioliikenteen nopeusrajoitusten osalta. Kirjallisuustutkimuksen avulla pyrittiin selvittämään myös liikennepsykologiaan sekä liikenneturvallisuuteen liittyviä näkökohtia. Tämän lisäksi pyrittiin ottamaan selvää markkinoilla olevista liikennetelemaatiikan sovelluksista.

Viranomaistahojen haastattelut toteutettiin, jotta saatiin näkemys, minkälaisia ovat Suomessa sekä lainsäädäntöä valmistelevan viranomaisen (LVM) että valtakunnallisen liikenteen turvallisuutta valvovan viranomaisen (Trafli) asiantuntijoiden käsitykset raitioliikenteen nopeusrajoituksiin ja liikenneturvallisuuteen liittyvistä kysymyksistä.

Haastatteluilla selvitettiin myös, minkälaisia ovat Suomen tämän hetken ainoan raitioliikenteen toiminnanharjoittajan (HKL) sekä liikennöinnistä että radanpidosta vastaavien henkilöiden käsitykset raitioliikenteen nopeusrajoituskysymyksistä. Lisäksi haastateltiin Tampereen raitiotie Oy:n turvallisuusvastaavaa liittyen erityisesti modernin raitiotien tasoristeysten suunnittelussa ilmenneisiin liikenneturvallisuushaasteisiin.

Työhön liittyi myös tutustumismatka kahteen länsieurooppalaiseen raitiotiekaupunkiin. Kohdekaupungeiksi valikoituivat München Saksassa sekä Amsterdam Alankomaissa.

Kirjallisuustutkimuksen, haastattelujen sekä Tampereen projektin kokemusten pohjalta laadittiin SWOT-analyysi muutamasta vaihtoehdosta nopeusrajoitusten merkitsemistavoiksi raitioteilla. Lopuksi laadittiin muutamia suosituksia raitioliikenteen nopeusrajoitusten merkitsemisperiaatteiksi Suomessa.

2.1 Sidosryhmähaastattelut

Tutkimuksen alkuvaiheessa tunnistettiin sidosryhmät. Näitä olivat ensinnäkin tutkimuksen aiheita ehdottanut Helsingin kaupunkiympäristön toimiala (KYMP), jossa toinen tämän tutkimuksen ohjaajista toimii raitiotiehankkeiden suunnittelun projektipäällikkönä. Toinen tärkeä sidosryhmä on Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos (HKL) tällä hetkellä (kesällä 2018) ainoana Suomessa laajamittaista raitioliikennettä harjoittavana toimijana. Näiden lisäksi tutkimuksen sidosryhmiä ovat Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafli) Suomessa liikenteen turvallisuutta valvovan viranomaisen asemassa, sekä Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) lainsäädäntöä valmistelevan viranomaisen asemassa.

Helsingin kaupunkiympäristön toimialalta tutkimuksen alullepanijana toimi liikenne- ja katusuunnitteluosaston liikennejärjestelmätoimisto, jossa toinen tämän tutkimuksen ohjaajista toimii raitiotiehankkeiden suunnittelun projektipäällikkönä.

Helsingin kaupungin liikennelaitoksella työn kannalta avainhenkilöitä olivat Liikennepäällikön sekä Infra- ja kalustoyksikön päällikkö, joita haastateltiin tutkimukseen liittyen.

Liikenne- ja viestintäministeriössä avainhenkilö oli Tieliikennelain kokonaisuudistuksesta vuosina 2013–2017 vastannut virkamies, jota myös haastateltiin tutkimukseen liittyen.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafissa avainhenkilöksi tunnistettiin raideliikenteen turvallisuusasioiden parissa työskentelevä henkilö, joka on ollut laatimassa kaupunkiraideliikennettä koskevaa Trafin määräystä. Myös häntä haastateltiin tutkimukseen liittyen.

Tutkimuksen yhteydessä ensin haastateltiin sekä HKL:n Liikennepäällikköä että Infra- ja kalustoyksikön päällikköä. Näiden kahden haastattelun kysymysten painopiste oli nopeusrajoitusasian käytännöllisissä kysymyksissä. Trafia sekä LVM:ä varten haastattelukysymysten painopistettä muutettiin siten, että kysymykset käsittelivät raitioliikenteen nopeusrajoitusten juridisia sekä liikenneturvallisuuteen liittyviä kysymyksiä. Erityisesti oltiin kiinnostuneita Trafin ja LVM:n edustajien näkökannoista sekä ajoradasta erillisen raitiotien kriteerien että toisaalta tasoristeysten turvallisuuskysymysten suhteen.

2.2 Kirjallisuustutkimus ja tutustumismatkat

Kirjallisuustutkimuksessa pyrittiin aluksi selvittämään Länsi-Euroopassa käytössä olevia raitioliikenteen nopeusrajoituksia koskevia säädöksiä. Selvitystyön edetessä tarkastelua laajennettiin vertailumielessä myös Pohjois-Amerikassa käytössä oleviin säädöksiin. Lisäksi pyrittiin selvittämään sekä säädöksissä että suunnitteluohjeissa olevia määräyksiä, joihin raitiovaunujen ajonopeus jollain tavalla liittyy. Esimerkkinä voisi mainita tasoliittymässä tai raitiotien tasoristeyksessä vaaditut näkemäalueet, joiden takia raitioliikenteelle sallittavaa nopeutta voidaan joutua rajoittamaan, jos vaaditut näkemävaatimukset eivät täyty.

Diplomityöhön liittyvät tutustumismatkat tehtiin Saksaan Müncheniin ja Alankomaihin Amsterdamiin. Kohteeksi haluttiin jokin sellainen saksalainen kaupunki, jossa on laaja raitiotiejärjestelmä. Toisen kohdekaupungin taas haluttiin olevan nimenomaan sellainen ei-saksalainen kaupunki, jossa olisi laaja ja kohtuullisen moderni raitiotiejärjestelmä, ja joka kulkisi kaupungin keskusta-alueilla pääsääntöisesti maan pinnalla.

2.3 Vaihtoehtojen muodostaminen

Kirjallisuustutkimuksen sekä HKL:n edustajien haastattelujen perusteella muodostettiin alustavasti kolme erilaista vaihtoehtoa raitioliikenteen nopeusrajoitusten merkitsemiseksi.

Tärkeimmäksi kysymykseksi nähtiin se, kuinka laajasti tai yksityiskohtaisesti raitioliikenteelle olisi tarkoituksenmukaista merkitä nopeusrajoituksia. Äärimmäisinä vaihtoehtoina nähtiin Helsingin raitiotiejärjestelmän nykyinen toimintamalli, jossa nopeusrajoituksia ei juurikaan merkitä rataverkolle vaihteita lukuun ottamatta, ja toisaalta suurimpien sallittujen ajonopeuksien merkitsemistä kaikkialle raitiotieverkolle. Näiden välimuotoja voisivat olla rataluokkiin tai nopeuseroon perustuvat toimintamallit nopeusrajoitusten merkitsemisessä. Toiseksi tärkeimpänä kysymyksenä pidettiin nopeusrajoitusten ilmoittamistapaa. Vaihtoehtoina olisivat joko kiinteät nopeusrajoitusmerkit, liikennetelematiikan hyödyntäminen tai raitiovaunun ajonopeuden elektroninen valvonta.

2.4 SWOT-analyysi

Tutkimuksen lopuksi laadittiin SWOT-analyysi muutamasta erilaisesta vaihtoehdosta raitioliikenteen nopeusrajoitusten määrittely- ja merkitsemiskäytännöiksi. SWOT-analyysi on työkalu, jonka avulla voidaan määritellä muun muassa toimintaympäristöjen muutostekijöiden roolit. Analyysin tavoitteena on kartoittaa organisaation sisäiset vahvuudet (S) ja heikkoudet (W) sekä ulkoiset mahdollisuudet (O) ja uhat (T). (Meristö & al. 2007, s. 7).

3 Käsitteet

Tässä luvussa käydään läpi rautatie- ja raitioliikenteeseen liittyvää erikoissanastoa.

Liikennöinti näköhavainnoilla

Raitiovaunuja liikennöidään yleensä niin sanotusti näköhavainnoilla jolloin ensisijaisesti kuljettajan vastuulla on huolehtia siitä, ettei hänen kuljettamansa raitiovaunu törmää toiseen raitiovaunuun tai muuhun tienkäyttäjään. Raitioliikennettä voidaan tällöin kuitenkin ohjata erityisten raitioliikenteelle tarkoitettujen liikennevalojen avulla vastaavalla tavalla kuin muuta liikennettä. Lisäksi raitioliikennettä voidaan ohjata esimerkiksi seis-opasteesta ennakkoon varoitavilla tai pysäkiltä liikkeelle lähtemiseen kehottavilla erityisillä opastimilla. Nämä opasteet eivät kuitenkaan poista raitiovaunukuljettajan vastuuta turvallisesta liikennöinnistä.

Kun raitiotie kulkee muun liikenteen kanssa samassa tilassa (rataluokat C1–C3, kts. luku 6), niin muiden tienkäyttäjien kulku suhteessa yksittäiseen raitiovaunuun on periaatteessa kontrolloimatonta; Viereisellä kaistalla kulkeva auto saattaa kääntyä sulkuviivan yli raitiovaunun eteen, edellä kulkeva toinen raitiovaunu saattaa jarruttaa äkisti, jolloin takana tuleva raitiovaunu voi ajaa edellä menevän perään ja jalankulkija saattaa juosta kadun poikki raitiovaunun alle. Tässä on suuri ero verrattuna rautatieliikenteeseen, jossa muun junaliikenteen kulkua ohjataan opastimilla sekä tietyillä turvallisuusperiaatteilla, ja kohtaamiset muun liikenteen kanssa tapahtuvat yleensä vain tasoliittymissä tai raitiotien tasoristeyksissä.

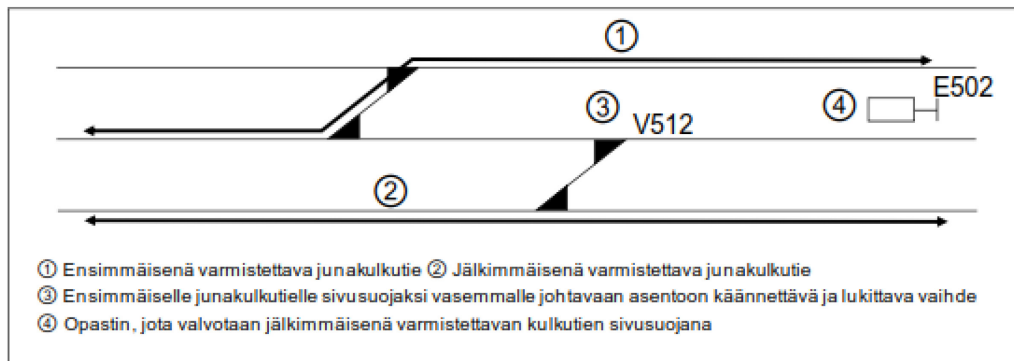
Liikennöinti junaliikenteenä

Tässä työssä "liikennöinnillä junaliikenteenä" tarkoitetaan sellaista raitio- tai rautatieliikenteen liikennöintitapaa joka tapahtuu vastaavalla tavalla kuin Liikenneviraston ohjeessa "Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt)" (Liikennevirasto 2018) on määritelty liikennöinti junaliikenteenä. Yksinkertaistaen "liikennöinnillä junaliikenteenä" tarkoitetaan sellaista liikennöintitapaa, jossa junansuorittajan tai kauko-ohjaajan ohjaama asetinlaite ohjaa annettujen komentojen perusteella vaihteita ja opastimia ja antaa muodostaa kulkuteitä raideosuudelta toiselle, tai jossa asetinlaite tekee kullekin rataverkolla liikkuvalla junalla kulkuteitä raideosuudelta toiselle ennalta laaditun aikataulun mukaan kullakin junalla olevan yksilöllisen junanumeron perusteella. Kuvassa 3.1. on havainnollistettu kulkutien käsitettä.

Sen lisäksi, että asetinlaite varmistaa kullekin junalle turvallisen kulun raideosuudelta toiselle, on asetinlaitteen varmistettava myös se, etteivät muut junat tai kalustoyksiköt ajaudu vahingossa toiselle junalla varmistetulle kulkutielle. Samoin asetinlaitteen on varmistettava se, ettei mikään juna ajaudu kulkutien päättävän pääopastimen ohi niin pitkälle, että se voisi päätyä toiselle junalla varmistetulle tai varmistettavalle kulkutielle. Edellisestä käytetään termiä "sivusuoja", jälkimmäisestä "ohiajovara".

Kuvan 3.1 avulla voidaan havainnollistaa näkemien varassa liikennöinnin ja junaliikenteenä liikennöinnin eroa: Näkemien varassa liikennöitäessä on raitiovaunukuljettajan vastuulla on varmistaa vaihteiden oikea asento. Sen sijaan liikennöitäessä junaliikenteenä, jos alkutilanteessa vaihde 3 osoittaa kulkutien 2 suuntaan, niin opastimeen 4 ei vaihdu ajon

sallivaa opastetta, ennen kuin kulkutie 2 vapautuu tai se vapautetaan liikenteenohjaajan toimesta. Toisaalta vaihdetta 3 ei myöskään voida kääntää kulkutien 1 suuntaan, ennen kuin kulkutie 1 vapautuu tai se vapautetaan.



Kuva 3.1. Sivusuojan valvonta, kun sivusuojan antavaa vaihdetta ei voida kääntää junakulkutien sivusuojan vaatimaan asentoon (Liikennevirasto 2014b)

Lisäksi juna ja rata voivat olla varustettu kulunvalvontalaitteistolla (JKV), joka pysäyttää junan, jos junan kuljettaja ajaa päin punaista valoa näyttävää opastinta. Tämän lisäksi kulunvalvontalaitteisto voi myös valvoa kullakin hetkellä suurinta sallittua ajonopeutta. Tässä työssä oletetaan JKV-laitteiston olevan asennettuna ja käytössä silloin kun puhutaan liikennöinnistä junaliikenteenä.

Tärkeä edellytys junaliikenteenä tapahtuvalle liikennöinnille on se, että muiden junien kulku on kontrolloitua ja konfliktipisteitä (kohtia, jossa kahden liikennevirran ajolinjat erkaantuvat, liittyvät tai risteävät) muiden liikennemuotojen kanssa on mahdollisimman vähän tai ei lainkaan.

Ajokaista

Tiimerkinnöin osoitettu tai muu autolle riittävän leveä ajoradan pituussuuntainen osa tai pyöräkaista (LM 1982b).

Asetinlaite

Asetinlaite on järjestelmä, jota käytetään kulkuteiden varmistamiseen. Asetinlaite varmistaa kulkutie-ehtojen täyttymisen kulkutietä asetettaessa ja toteuttaa kulkutien varmistamiseen liittyvät toimenpiteet. (Liikennevirasto 2014b, s. 9).

Baliisi

Junien kulunvalvonnan ratalaite, jonka avulla kulunvalvonnan vaatimat ratatiedot lähetään veturilaitteelle (Järvinen & Viitanen 2014, s. 14). Tässä työssä veturilaitteella tarkoitetaan raitiovaunussa, veturissa, moottorivaunussa tai työkoneessa olevaa laitetta.

Bukseeri

Raitiovaunun työntämistä toisen vaunun avulla kutsutaan Helsingin kaupungin liikennelaitoksella "bukseeriksi" (HKL 2018, s. 52). Termi on peräisin ruotsin kielestä, jossa sana "bogsera" tarkoittaa hinaamista.

Junakulku tie

Junaliikenteessä käytettävä kulkutie. Junakulku tiellä tarkoitetaan junalle varmistettua reittiä. Kulkutiehen kuuluvat sillä olevat opastimet, vaihteet, raiteensulut ja raideosuudet. Kulkutiehen liittyvät mahdolliset sivusuoja- ja ohiajovaraelementit. (Liikennevirasto 2018, s. 7).

Junien kulunvalvonta (JKV)

Junien kulunvalvonta on järjestelmä, joka valvoo yksikön suurinta nopeutta (Liikennevirasto 2014b, s. 11). Tässä työssä junien kulunvalvonnalla (JKV) tarkoitetaan järjestelmää, joka sekä valvoo raitiovaunun suurinta nopeutta että estää raitiovaunua ajamasta päin pääopastimen näyttämää seis-opastetta.

Kulkutie

Kulkutiellä tarkoitetaan turvalaitejärjestelmän varmistamaa reittiä haluttujen alku- ja pääte pisteiden välillä. Kulkutie varmistetaan kulkutien aloittavan ja päättävän opastimen välillä. Kulkutiehen liittyy myös sivusuoja ja ohiajovara silloin, kun kulkutie niitä edellyttää. (Järvinen & Viitanen 2014, s. 73).

Käyttöjarrutus

Käyttöjarrutus (Betriebsbremsung) on kulkuneuvon kuljettajan tai automaattisen nopeudenohjauksen jarrutus haluttuun nopeuteen tai junan pysäytykseen matkustajia vaarantamatta (BLFA BOStrab 2008, s. 11). Käyttöjarrutuksessa jatkuva jarrutushidastuvuus ei saa olla enempää kuin $2,0 \text{ m/s}^2$ seisovien matkustajien turvallisuus- ja mukavuussyistä BOStrabin 36 § 2 momentin 1 alamomentin mukaisesti (BLFA BOStrab 2008, s. 33).

Ohiajovara

Ohiajovara on varmistetun junakulkutien päättävän opastimen takana oleva raideosuus tai raideosuudet, jotka on lukittu ja valvotaan vapaaksi varmistetun kulkutien ehdoissa. (Liikennevirasto 2014b, s. 15).

Rataluokka

Raitiotiet voidaan jakaa kolmeen luokkaan sen mukaan, miten voimakkaasti raitioliikenne on eroteltu muusta liikenteestä (Vuchic 2007, s. 47–52).

Luokan A radat on lähtökohtaisesti eristetty täysin muusta liikenteestä aitaamalla tai tasoorottelulla ja pääsy raiteille on ainoastaan pysäkeiltä tai lukittavien porttien tai ovien kautta.

Luokan B radat on pituussuunnassa eroteltu muusta liikenteestä, mutta risteävä liikenne voi kulkea radan yli tasoliittymien tai raitiotien tasoristeysten kautta.

Luokan C radoilla raitioliikenne kulkee muun liikenteen kanssa samoilla tai vierekkäisillä ajokaistoilla, eikä fyysistä erottelua raitioliikenteen ja muun liikenteen välillä ole.

Rataluokkia on laajemmin käsitelty luvussa 6.

Risteys

Kahden tai useamman liikenneväylän liittymis- tai risteämiskohta, jossa liikenne voi siirtyä väylältä toiselle (Tiehallinto 2001).

Sivusuoja

Sivusuoja on elementti, jolla suojataan varmistettua kulkutietä tai paikallisluparyhmää, jonka paikallislupa on annettuna, muulta liikennöinniltä. (Liikennevirasto 2014b, s. 17).

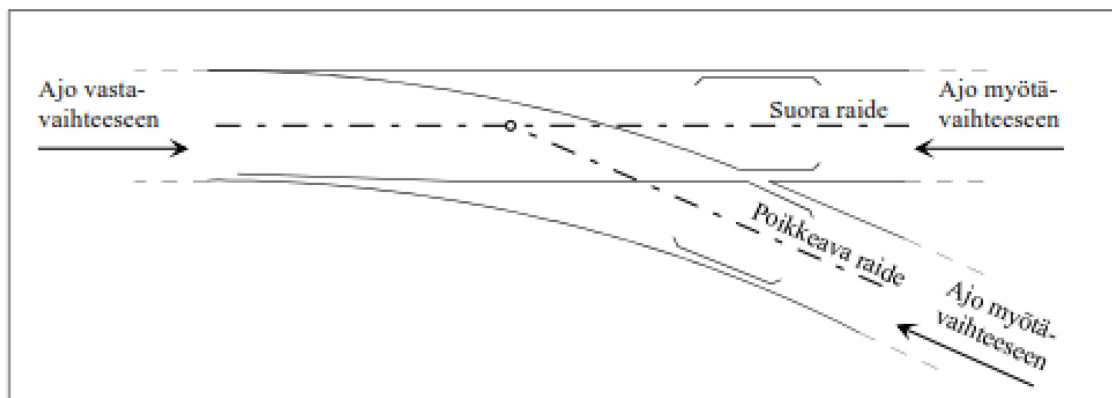
Tasoliittymä

Liittymä, jossa liikenne voi siirtyä samassa tasossa väylältä toiselle. Tieliikennelainsäädännössä risteys on sama kuin tasoliittymä (Tiehallinto 2001, s. 8). Tässä työssä tasoliittymällä tarkoitetaan kaikkia niitä raitioliikenteen ja muun liikenteen risteämispaikkoja, jotka eivät täytä jäljempänä mainittuja tasoristeyksen kriteerejä.

Tasoristeys

Tasoristeys tarkoittaa tien, kadun, yksityistien tai kevyen liikenteen väylän ja radan samassa tasossa olevaa risteystä (Liikennevirasto 2012b). Tässä työssä tasoristeyksellä tarkoitetaan vain sellaisia edellä mainittuja risteyskohtia/tasoliittymiä, jotka on merkitty Tielikenneasetuksen (LM 1982a) mukaisella liikennemerkillä 167 ja joissa muiden tienkäyttäjien on väistettävä kiskoilla kulkevia laitteita. Lisäksi jos tasoristeys on valo-ohjattu, niin tässä työssä lähtökohtana on, että tasoristeyksessä on tällöin erillinen varoituslaitos, jonka toiminta on kytketty tasoristeyksen vieressä mahdollisesti olevan liikennevalo-ohjatun risteyskohtan liikennevalojen ohjauskojeeseen.

Vaihteet ja raideristeykset



Kuva 3.2. Vaihteen poikkeava ja suora raide sekä ajo myötä- ja vastavaihteeseen (Liikennevirasto 2012a)

Kuvan 3.3 mukaisen vaihteen muut osat ovat seuraavat:

- A = tukikiskot
- B = kielet (tukikiskot ja kielet muodostavat yhdessä kielisovitukseen)
- C = vastakiskojen tukikiskot
- D = vastakiskot (tukikisko ja vastakisko muodostavat yhdessä vastakiskosovitukseen)
- E = siipikiskot

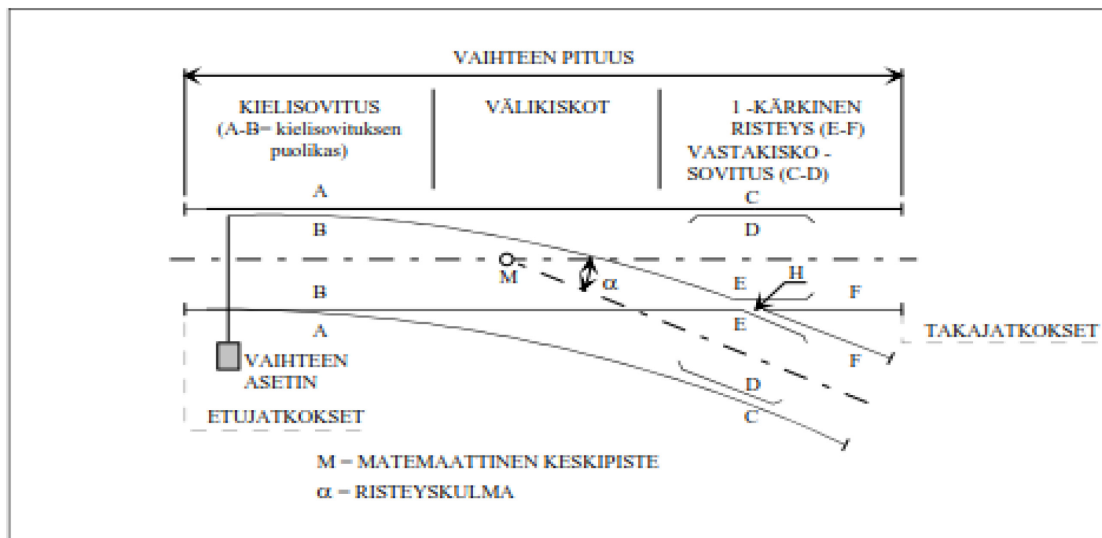
F = kärkikiskot

- kärkikiskot muodostuvat risteuksen kärkiosasta ja siihen hitsatuista jatkekiskoista
- siipikiskot ja kärkikiskot muodostavat 1-kärkisen risteuksen

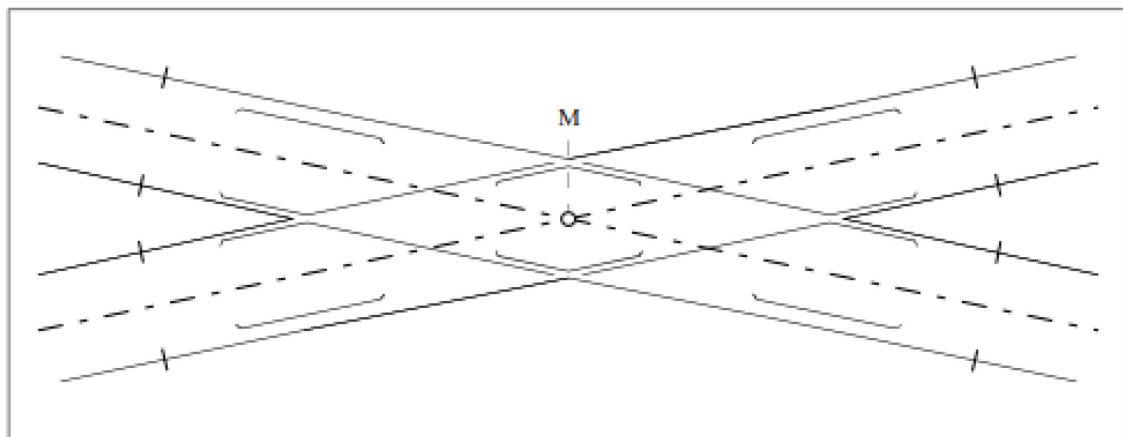
M = vaihteen matemaattinen keskipiste (vaihteen risteyskulman mukainen suoran ja poikkeavan raiteen keskilinjojen leikkauspiste)

H = risteuksen matemaattinen risteyspiste, risteuksen kulkureunojen leikkauspiste

α = vaihteen risteyskulma, joka ilmoitetaan tavallisesti vaihteen risteys-suhteena, esimerkiksi 1:9.



Kuva 3.3. Vaihteen pääosat (Liikennevirasto 2012a)



Kuva 3.4. Raideristeys (Liikennevirasto 2012a)

Varmuuslukituksesta riippumaton vaihde

Varmuuslukituksesta riippumattomalla vaihteella tarkoitetaan vaihdetta, jonka tilatietoa ei ole kytketty kyseistä vaihdetta suojaavaan opastimeen (VR 1987). Toisin sanoen vaihdetta suojaavan opastimen aja-opaste ei ole riippuvainen tämän kyseisen vaihteen asennosta.

Ylityspaikka

Tässä työssä ylityspaikalla tarkoitetaan sellaista raitiotien sekä jalkakäytävän ja/tai pyörätien risteämiskohtaa, jossa sekä jalankulkijat että pyöräilijät ovat väistämisvelvollisia raitioliikenteeseen nähden.

4 Raitioliikennettä koskeva säätely Suomessa

4.1 Raitioliikennettä koskeva lainsäädäntö ja viranomais määräykset Suomessa

Vuoden 2018 heinäkuussa Suomessa ei ollut muuta erityisesti raitioliikennettä koskevaa lainsäädäntöä, kuin vuonna 2015 voimaan tullut "Laki kaupunkiraideliikenteestä (2015/1412)" (jäljempänä Kaupunkiraideliikennelaki), jossa säädetään metrorata- sekä raitiorataverkon hallintaan ja liikenteen harjoittamiseen liittyvistä asioista.

Kaupunkiraideliikennelaissa säädetään muun muassa toiminnanharjoittajaa koskevista vaatimuksista, velvollisuuksista sekä vastuista, toiminnanharjoittajalta vaadittavasta turvallisuusjohtamisjärjestelmästä, kaupunkiraideliikenteessä liikenneturvallisuustehtäviä hoitavien henkilöiden kelpoisuusvaatimuksista, rataverkon liikenteenohjauksesta, kaupunkiraideliikenteen viranomaisvalvonnasta, raitio- tai metroliiikenteen käyttämällä rataverkolla sattuneiden onnettomuuksien tutkinnasta sekä toiminnanharjoittajalta vaadittavasta varautumisesta poikkeusoloihin. (LVM 2015.)

Muuta raitioliikenteeseen vaikuttavaa lainsäädäntöä ovat Raideliikennevastuulaki sekä Tieliikennelaissa olevat tietyt suoraan raitioliikennettä koskevat säädökset. Tämän lisäksi tieliikennelain 47 § mukaan: "*Raitiovaunun kuljettajan on soveltuvin osin noudatettava ajoneuvon kuljettajia koskevia säännöksiä, jollei 14 §:stä muuta johdu.*" (LM 1982a.)

Tieliikennelain raitioliikennettä käsittelevät säädökset koskevat lähinnä muiden tienkäyttäjien väistämisvelvollisuuksia raitioliikenteen suhteen, raitiovaunun ohittamista, raitioliikennettä haittaavan pysäköinnin ja pysäyttämisen kieltoa, tilan antamista raitiovaunusta poistuville matkustajille sekä raitiotien ylittämistä. Sen sijaan esimerkiksi raitioliikennettä koskevista nopeusrajoituksista, raitioteiden suunnittelusta tai raitioteiden turvalaitteista ei Suomessa ole erikseen säädetty lainsäädännössä. Kuitenkin vallitseva tulkinta on ollut, että raitioliikenteen on tieliikennelain 47 § perusteella noudatettava ajoneuvoliikenteen nopeusrajoituksia. (LM 1982a.)

Tieliikennelain 3 § 1 momentin mukaan tienkäyttäjän on: "*noudatettava liikennesääntöjä sekä muutenkin olosuhteiden edellyttämää huolellisuutta ja varovaisuutta vaaran ja vahingon välttämiseksi.*"

Lisäksi tieliikennelain 23 § 1 momentin mukaan ajoneuvon nopeus on: "*sovitettava sellaiseksi kuin liikenneturvallisuus edellyttää huomioon ottaen muun ohella tien kunto, sää, keli, näkyvyys, ajoneuvon kuormitus ja kuorman laatu sekä liikenneolosuhteet. Nopeus on pidettävä sellaisena, että kuljettaja säilyttää ajoneuvon hallinnan. Ajoneuvo on voitava pysäyttää edessä olevan ajoradan näkyvällä osalla ja kaikissa ennalta arvattavissa tilanteissa.*"

Tieliikennelain 32 § 1 momentissa mainitaan vielä erikseen suojateiden osalta seuraavaa: "*Suojatietä lähestyvän ajoneuvon kuljettajan on ajettava sellaisella nopeudella, että hän voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä. Kuljettajan on annettava esteetön kulku jalan- kulkijalle, joka on suojatiellä tai astumassa sille.*"

Edellä mainittujen lakien lisäksi raitioliikennettä säädellään Liikenteen turvallisuusviraston Trafín määräyksellä "Kaupunkiraideliikennemääräys", jossa määrätään kaupunkiraideliikenteen yleisistä turvallisuustavoitteista; kaupunkiraideliikenteen toiminnanharjoittajalta vaadittavan turvallisuusjohtamisjärjestelmän sisällöstä; tietyistä rataverkkoon, liikkuvaan kalustoon sekä henkilöstöön liittyvistä tiedoista, jotka toiminnanharjoittajan on tallennettava sekä pyydettäessä annettava Trafille, sekä turvallisuuspoikkeamien raportoinnista (Trafille).

4.2 HKL:n ohjeet koskien raitioliikennettä ja raitioteiden suunnittelua Helsingissä

Helsingin Kaupungin Liikenneliikelaitoksen (HKL) harjoittamaa raitioliikennettä koskevat edellä mainittujen lakien lisäksi HKL:n laatimat *Raitioliikennesääntö* sekä *Raitioliikenteen toimintaohjeet*.

Vuonna 2017 voimaantulleessa Helsingin kaupungin Raitioliikennesäännössä ei määrätä raitioliikennettä koskevista nopeusrajoituksista muuta kuin, että: "*Raitiovaunun kuljettajan on soveltuvin osin noudatettava ajoneuvon kuljettajia koskevia tieliikennelain (267/1981) säännöksiä, jollei lain 14 §:stä muuta johdu.*" (HKL 2017.)

HKL:n raitioliikenteen toimintaohjeissa (HKL 2018, s. 22–24) määrätään että raitioliikenteen on noudatettava katualueen nopeusrajoitusta, ellei raitioliikenteen omilla merkeillä tai toimintaohjeilla ole osoitettu alemmaa rajoitusta. Lisäksi ohjeessa todetaan, että koska Helsingin raitiorataverkko sijaitsee kokonaisuudessaan taajama-alueella, niin nopeusrajoitus rataverkolla on yleensä enimmillään 50 km/h, ellei erillisellä merkillä katualueelle ole osoitettu tätä korkeampaa rajoitusta. Lisäksi pihakadulla ja kävelykadulla todetaan olevan nopeusrajoitus 20 km/h.

HKL:n raitioliikenteen toimintaohjeessa on lisäksi määrätty erityisistä nopeusrajoituksesta tietyissä tapauksissa Helsingin raitiotieverkolla seuraavasti (HKL 2018, s. 24):

- *Vaihde- ja raideristeysalueella 10 km/h*
- *Työmaa-alueella 10 km/h*
- *Pysäkillä, jolla on ihmisiä tai toinen vaunu 20 km/h*
- *Kävelykadulla alle 20 km/h*
- *Töölön turvavaihdetta ("Varraksen vaihde") käännettäessä 5 km/h ja vaihteessa ajettaessa 10 km/h*
- *Pintavaihteessa ("letteri") 5 km/h*
- *Raitiovaunuhallissa ja hallialueella 10 km/h*
- *(Koskelan) varikkoalueella yleisesti 20 km/h*

Ohjeessa esitellään myös Helsingissä käytettävät raitioliikennettä koskeva oma nopeusrajoitusmerkki, nopeusrajoituksen päättymismerkki sekä työmaamerkki, johon sisältyy nopeusrajoitus 10 km/h. Nopeusrajoitusmerkin osalta todetaan, että merkin osoittama nopeusrajoitus alkaa merkin kohdalta ja nopeusrajoitus päättyy joko silloin kun vaunu on ohittanut nopeusrajoituksen päättymismerkin, tai jos päättymismerkkiä ei ole ja: "*nopeusrajoituksen voi selkeästi tulkita koskevan tiettyä kaarretta tai vaihde-/ristikkoaluetta, nopeusra-*

joitus päättyy, kun vaunu on koko pituudeltaan ohittanut vaihde-/ristikkoalueen tai kaarteeseen." (HKL 2018, s. 23)

Työmaamerkin osalta ohjeessa todetaan seuraavasti: *"Työmaa-alueen 10 km/h nopeusrajoitus osoitetaan erillisillä, raiteen viereen asennettavilla työmaamerkeillä. Erillisellä raiteen viereen sijoitetulla merkillä voidaan määrätä myös 5 km/h nopeusrajoitus."* (HKL 2018, s. 23)

Nopeusrajoitusten suhteen Helsingin raitiotieillä on nykyään (vuonna 2017) käytäntönä, että raitioliikenteeseen vaikuttavat nopeusrajoitukset merkitään pääsääntöisesti ainoastaan kahdessa tapauksessa (Hagberg 2017):

- Ratatyömailla, joilla käytetään siirrettäviä nopeusrajoitusmerkkejä (Kuva 4.1).
- Vastavaihteissa, joiden kohdalla käytetään ajolankaan kiinnitettyjä nopeusrajoitusmerkkejä (Kuva 4.2).



Kuva 4.1. Ratatyömaa raitiotiellä Helsingissä (Längman 2007)



Kuva 4.2. Vastavaihteeseen liittyvä nopeusrajoitusmerkki Helsingin raitiotiellä

Tämän lisäksi muutamassa erityiskohteessa on asetettu raitioliikenteelle erilliset nopeusrajoitusmerkillä merkityt nopeusrajoitukset (Hagberg 2017):

- Kaarteessa oleva nopeusrajoitus Munkkiniemessä Saunalahdentien ja Hollantilaisentien risteyksessä (Kuva 4.3).
- Pysäkkialuetta koskeva nopeusrajoitus Hakaniementorin pysäkkialueelle saavuttaessa (Kuva 4.4).
- Mäkelänkadulla oleva nopeusrajoitus Mäkelänrinteen uimahallin luona kevyen liikenteen ylikulkusillan kohdalla (kuva 4.5).



Kuva 4.3. Kaarteessa oleva nopeusrajoitus raitiotiellä Helsingin Munkkiniemessä



Kuva 4.4. Raitiotien pysäkkialueen kohdalla oleva nopeusrajoitus Hakaniemessä Helsingissä



Kuva 4.5. Mäkelänparkun raitiotiellä ylikulkukäytävän kohdalla oleva nopeusrajoitus

Lisäksi HKL on laatinut vuonna 2016 raitioteiden suunnitteluohjeen, jossa on taulukoitu muun muassa halutun ajonopeuden perusteella vaadittava raiteen kaarresäde ja raiteen kalistus. Tätä ohjetta käsitellään enemmän luvussa 5.5.1.

4.3 Uusi tieliikennelaki

Vuoden 2018 kesäkuussa Suomen eduskunta on hyväksynyt uuden tieliikennelain ja Suomen hallitus on esittänyt lain vahvistamista elokuussa 2018. Tämän uuden tieliikennelain on tarkoitus tulla voimaan kesäkuun alusta 2020.

Uudessa tieliikennelaissa eräs merkittävä muutos raitioliikenteen kannalta on raitiotien tasoristeyksen määrittely laissa. Uuden tieliikennelain mukaan tasoristeyksellä tarkoitetaan: *"liikennemerkillä merkittyä samassa tasossa olevaa tien ja erillisen rautatien tai raitiotien risteämää."* (LVM 2018, 2 §). Samoin muiden tienkäyttäjien väistämisvelvollisuus raitioliikennettä kohtaan laajenee myös sellaisiin tilanteisiin, joissa raitiovaunu vaihtaa sivusuunnassa ajokaistaa tai kääntyy oikealle samaan suuntaan kulkevan ajoneuvoliikenteen eteen. Kuitenkin raitiovaunujen on edelleen annettava jalankulkijoille suojatiellä esteetön kulku. Myös jatkossa on kuitenkin sallittua määritellä jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden käyttämät ylityspaikat suojatien sijasta "ylityspaikoiksi", joissa siis jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden on annettava raitiovaunuille esteetön kulku.

Uudessa tieliikennelaissa on myös määritetty raitiotielle yleinen nopeusrajoitus taajamissa 50 km/h ja taajamien ulkopuolella 80 km/h, ellei liikennemerkillä ole osoitettu noudatettavaksi muuta rajoitusta (LVM 2018, 9 §). Lisäksi uuden tieliikennelain mukaan *"pihakadulla tai kävelykadulla raitiovaunun nopeus on sovitettava jalankulun mukaiseksi eikä se saa ylittää 20 kilometriä tunnissa"* (LVM 2018, 64 §). Uuden tieliikennelain 165 § perusteella

liikenteen ohjauslaitteella osoitettu suurin sallittu nopeus koskee myös raitiovaunuja (LVM 2018, 165 §).. Sen sijaan vuoden 1981 tieliikennelaissa raitioliikenteen nopeakrajoituksista ei ole eksplisiittisesti säädetty.

Yllämainittujen säädösten lisäksi uudessa tieliikennelaissa säädetään vuoden 1981 tieliikennelaista poiketen nimenomaisesti myös siitä, että mitä uuden tieliikennelain pykälää raitioliikenteen on noudatettava (LVM 2018, 64 §).

5 Nopeusrajoitusten perusteita ja käytäntöjä eri liikennemuodoissa sekä muiden maiden raitioliikenteessä

Raitioliikenteen nopeusrajoitusten määrittelyperusteisiin ja nopeusrajoitusten merkintäkäytäntöihin on mahdollista hakea esimerkkejä sekä muiden maiden raitioliikenteestä että toisaalta muista liikennemuodoista Suomessa. Seuraavassa käydään läpi ensin suomalaisia rautatie-, metro- ja maantieliikenteen ohjeita ja määräyksiä. Ja tämän jälkeen luodaan katsaus raitioliikenteen säädöksiin muutamassa Länsi-Euroopan maassa. Lopuksi tarkastellaan eräitä yleisesti raitioliikenteen suurimpiin sallittuihin ajonopeuksiin vaikuttavia seikkoja.

5.1 Rautatieliikenne Suomessa

Rautatieliikennettä Suomessa säädellään sekä EU-tason että kansallisen tason lainsäädännössä. Tämän lisäksi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on antanut rautatieliikennettä koskevia määräyksiä sekä ohjeita, ja Liikennevirasto on laatinut maanteiden ja rautateiden suunnittelua koskevia ohjeita. Näissä on muun muassa seuraavanlaisia rautatieliikenteen nopeutta koskevia määräyksiä ja ohjeita:

- Liikenneviraston hallinnoimalla valtakunnallisella rautatieverkolla nopeusrajoitukset merkitään raiteiden viereen sijoitettavin nopeusmerkein, kun raiteen suurin sallittu on vähintään 10 km/h ja enintään 70 km/h. (Liikennevirasto 2016a, s. 20.)
- Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussääntöjen (Jt) mukaan jos junan kulunvalvontalaite (JKV) ei anna tietoa junan nopeudesta, niin nopeus saa olla enintään 80 km/h ja poikkeavalle raiteelle johtavassa vaihteessa tällöin 35 km/h, paitsi jos vaihdetta edeltävä pää- tai yhdistelmäopastin näyttää opastetta *Aja*. (Liikennevirasto 2018, s. 16.)
- Junan nopeus saa olla enintään 50 km/h *Odota seis* -opastetta tai *Aja, odota seis* -opastetta näyttävän opastimen ja kyseisen opasteen tarkoittaman opastimen välisellä alueella, jos junan kulunvalvontalaite ei anna tietoa nopeudesta. (Liikennevirasto 2015, s. 10). Opaste *Odota seis* tarkoittaa, että seuraava pää-, yhdistelmä-, tai suojastusopastin näyttää opastetta *Seis* (Liikennevirasto 2018, s. 45).
- Suurin sallittu nopeus lyhyissä vaihteissa on 35 km/h ja pitkissä vaihteissa poikkeavan raiteen kaarresäteestä riippuen 60, 70, 80, 140 tai 160 km/h. Risteysvaihteissa ja raideristeyksissä suurin sallittu nopeus on päällysrakenneluokan A raiteilla 35 km/h ja muuten 90 km/h. Varmuuslukituksesta riippumattomaan vaihteeseen ajettaessa suurin sallittu nopeus on sekä suoralla että poikkeavalla raiteella 30 km/h. (Liikennevirasto 2016b, s. 134.)
- Tasoristeyksessä on oltava puomilaitos, kun raiteen suurin nopeus tasoristeyksessä on yli 100 km/h ja kun tien keskivuorokausiliikenne (KVL) on yli 2000 ajoneuvoa (Trafi 2014, s. 4).
- Raiteen suurin nopeus saa olla tasoristeyksessä enintään 140 km/h, ellei tasoristeyksen ylittämistä ole estetty lukittavalla puomilla tai portilla. Lukittavan puomin

tai portin on oltava liikenteenohjauksen valvonnassa ja kytketty siten, että junakul-
kutien varmistaminen on estetty, jos puomi tai portti ei ole lukossa ja liikenteenoh-
jauksen valvonnassa. (Trafi 2014, s. 4.)

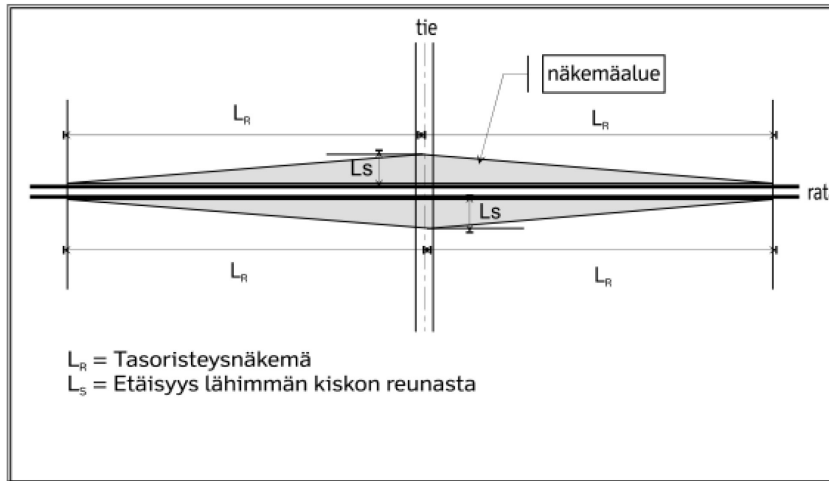
- Tasoristeyksessä, jossa raiteessa on urakisko tai vastaava rakenne, saa raiteen suu-
rin nopeus olla enintään 35 km/h (Trafi 2014, s. 4).
- Junan suurin sallittu nopeus on 80 km/h, jos junan kulkua ei valvota JKV-
järjestelmän avulla (Trafi 2015, s. 2).
- Junan suurin sallittu nopeus on 50 km/h, jos kuljettajan toimintakykyä ei vajaatoi-
mintatilanteesta johtuen valvota (Trafi 2015, s. 2).
- Vaihtotyössä yksiköt vastaavat itsenäisesti liikennöinnistä alueella, johon niillä on
rataverkon haltijan lupa. Vaihtotyössä kuljettajan on kaikissa tilanteissa ajettava va-
rovasti, kontrolloitava nopeutta sekä huomioitava näkemä kulkusuuntaan siten, että
hän kykenee pysäyttämään yksikön ennen mitä tahansa estettä. Suurin sallittu no-
peus vaihtotyössä on 50 km/h. (Trafi 2015, s. 3.)
- Raiteen ja tien välisen terävän kulman on tasoristeyksessä oltava vähintään 70 as-
tetta liitteen 1 mukaisesti. Jos tätä ei ole kohtuullisin toimenpitein mahdollista to-
teuttaa tasoristeyksen uudistamisen tai parantamisen yhteydessä on tämä otettava
erityisesti huomioon riskien arvioinnissa ja mietittävä siinä keinoja turvallisuuden
parantamiseksi. (Trafi 2014, s. 4.)

Yllä olevista määräyksistä ja ohjeista voisi raitioteilla harkita sovellettavaksi ensimmäistä
ohjetta, jonka mukaan radan varteen ei tarvita erillisiä nopeakäyttömerkkejä silloin kun
JKV-laitteisto tai vastaava järjestelmä kertoo radan suurimman sallitun nopeuden. Lisäksi
Trafin määräystä urakiskoilla kiskotetun raiteen tasoristeyksessä suurimmasta sallitusta
nopeudesta voisi olla hyvä soveltaa myös raitioteilla. Raitioliikenteen suurimmaksi salli-
tuksi nopeudeksi katuradoilla (rataluokat C1–C3, kts. luku 6) voisi asettaa esimerkiksi 50
km/h. Myös Trafin määräystä puomilaitoksen asentamisesta tasoristeykseen kannattaisi
soveltaa, mutta alhaisemmalla radan nopeustasolla. Sopivien nopeustasojen määrittely
edellä mainituissa tapauksissa vaatisi jatkotutkimuksia.

Näiden ohella Liikenneviraston ohjetta suurimmasta sallitusta nopeudesta risteysvaihteissa
ja raideristeyksissä voisi olla syytä noudattaa, ellei laitevalmistaja toisin ohjeista.

Näkemäalueet rautatien tasoristeyksissä

Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen mukaiset näkemävaatimukset rautateiden tasoristeyksissä vaadittavat näkemäalueet mittoineen on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 2. Tasoristeyksen näkemäalue (LMA:n 6 §).

Taulukko 1. Tasoristeyksen näkemävaatimukset

	Tien tasoristeys	Varoituslaitteella varustettu tien tasoristeys	Rajoitetun liikenteen tasoristeys	Varoituslaitteella varustettu rajoitetun liikenteen tasoristeys	Kevyen liikenteen väylän tasoristeys	Varoituslaitteella varustettu kevyen liikenteen väylän tasoristeys
Radan suurin nopeus (km/h)	L_S (m)	L_S (m)	L_S (m)	L_S (m)	L_S (m)	L_S (m)
	8	6	8	6	6	6
	L_R (m)	L_R (m)	L_R (m)	L_R (m)	L_R (m)	L_R (m)
30	180 (160)		120 (110)		100 (90)	
40	240 (215)	180	160 (145)	120	135 (120)	100
50	300 (270)	180	200 (180)	120	170 (155)	100
60	360 (325)	180	240 (215)	120	205 (185)	100
70	420 (340)	180	280 (250)	120	240 (215)	100
80	480 (430)	180	320 (290)	120	270 (245)	100
90	540 (485)	180	360 (325)	120	305 (275)	100
100	600 (540)	180	400 (360)	120	340 (305)	100
110	660 (595)	180	440 (395)	120	375 (340)	100
120	720 (650)	180	480 (430)	120	410 (365)	100
130	780 (700)	180	520 (470)	120	440 (395)	100
140	840 (755)	180	560 (505)	120	475 (430)	100

Kuva 5.1. Rautatien tasoristeysten näkemäalueet (Liikennevirasto 2012b, s. 13).

Raitioteille ei toistaiseksi ole Suomessa olemassa valtakunnallisia ohjeita liittymien ja tasoristeysten näkemäalueiden mitoittamiseksi. Myöskään kaupunkien katuverkolla vaadittavien näkemäalueiden osalta ei ole yhtenäistä ohjeistusta. Raide-Jokeri -hankkeeseen liittymien on hankkeen toimesta luotu ohjeistusta hankkeen suunnittelussa käytettäväksi raitioliiikenteen, moottoriajoneuvoliikenteen, pyöräliikenteen sekä jalankulkuliikenteen näkemiksi (Raide-Jokeri 2018).

5.2 Helsingin metro

Helsingin metron toimintaa säädellään kaupunkiraideliikennelain lisäksi HKL:n antamilla metroliikennesäännöllä sekä metroliikenteen toimintaohjeilla.

"Metroliikennesääntö on HKL:n toimintaa säätelevä sisäinen ohje ja keskeisin turvallisuusasiakirja. Siihen sisältyy ohjeet metroliikenteen hoitamisesta, ajolupien myöntämisestä, metrojunan rakenteista ja varusteista, kaluston katsastuksesta ja matkustajan velvollisuuksista. Lisäksi HKL:llä on käytössä metroliikenteen toimintaohjeet, MTO-ohjeet, joihin myös metroliikennesääntö sisältyy. Ohjeisiin kuuluu yleiset ohjeet metroliikennehenkilökunnalle eli metron kuljettajille, järjestyksenpitäjille sekä huollosta ja kunnossapidosta vastaaville. Niihin kuuluu myös ohjeistus junanajosta, metroasemien käytöstä ja valvonnasta, aluevalvomojen toiminnasta sekä sähköturvallisuudesta. Lisäksi ohjeisiin sisältyy opastekäsitteet ja säännöt sekä yleiset turvallisuusmääräykset radalla liikkumista ja työskentelyä varten." (Riipinen 2015.)

- HKL:n metroliikenteen toimintaohjeen osan 3 mukaan linjaradalla välillä Matinkylä–Mellunmäki/Vuosaari on voimassa yleinen nopeusrajoitus 80 km/h, paitsi Helsingin keskustan tunneliosuudella nopeusrajoitus on 70 km/h välillä Ruoholahti–Sörnäinen. Saman ohjeen mukaan metron varikkoalueella on nopeusrajoitus yleisesti 20 km/h, kuitenkin halleissa sisällä 10 km/h. Lisäksi metron rataverkolla olevalla niin sanotulla koestusraiteella nopeusrajoitus on 80 km/h, pois lukien merkityissä kohdissa 100 km/h. (HKL 2016a, s. 33.)
- Nopeusrajoituksen etumerkkiä (1. ennakkomerkkiä) käytetään tilapäisten nopeusrajoitusten yhteydessä tai jos nopeusrajoitusta ei voida havaita riittävältä etäisyydeltä (HKL 2016a, s. 34).

Helsingin metron rataverkolla käytetään rataosittain määriteltäviä yleisiä nopeusrajoituksia, joista tarvittaessa poiketaan erillisillä nopeusrajoitusmerkeillä alaspäin. Vastaava menettely on käytössä Bergenin raitiotiellä, kts. tarkemmin luku 5.4.3. Rataosakohtaisten nopeusrajoitusten käyttö onnistuisi myös raitiotieillä, erityisesti jos ratageometria ja liikenneolosuhteet ovat melko homogeenisia kullakin rataosalla. Varikkoalueilla alueellinen nopeusrajoitus lienee järkevin ratkaisu joitain erityiskohteita lukuun ottamatta.

5.3 Tie- ja katuliikenne

5.3.1 Nopeusrajoitusten asettamisperusteet

Suomen vuodelta 1981 peräisin olevassa tieliikennelaissa ei säädetä ajoneuvoja koskevista nopeusrajoituksista muuta kuin että ajonopeus on sekä pihakadulla että kävelykadulla sovitettava jalankulun mukaiseksi eikä se saa ylittää 20 km/h (LM 1982, 33 § ja 33a §). Kuitenkin tieliikennelain 25 § 1. momentissa säädetään seuraavasti: *"Liikenneministeriö voi antaa määräyksiä yleisestä nopeusrajoituksesta koko maassa tai tietyssä osassa maata. Tiekohtaisista ja paikallisista nopeusrajoituksista päättää liikenneministeriön tarvittaessa antamien yleisten ohjeiden mukaisesti ja 51 §:n säännöksiä noudattaen se, jolle liikenteen ohjauslaitteen asettaminen kuuluu."* Sekä 2. momentissa: *"Moottorikäyttöisten ajoneuvojen suurimmista sallituista ajoneuvokohtaisista nopeuksista ja ajoneuvon turvallista käyttöä"*

tietyllä nopeudella koskevista ehdoista säädetään valtioneuvoston asetuksella. (12.12.2014/1043)"

Lähtökohtaisesti ajoneuvon kuljettajan on noudatettava tielle tai kadulle nopeusrajoitusmerkeillä asetettua nopeusrajoitusta, minkä lisäksi asetuksessa ajoneuvojen käytöstä tiellä säädetään erilaisista ajoneuvoluokkia koskevista enimmäisnopeusrajoituksista, kuten esimerkiksi paketti-, kuorma- ja linja-autoja koskevan nopeusrajoituksen 80 km/h (tietyin asetuksessa määritellyin ehdoin 100 km/h), mopoja koskevan nopeusrajoituksen 45 km/h sekä traktoreita koskevan nopeusrajoituksen 40 km/h (tietyin ehdoin 60 tai jopa 80 km/h). (LM 1992.)

Näiden lisäksi Liikenneministeriön päätös yleisistä nopeusrajoituksista määrää yleiseksi nopeusrajoitukseksi taajamassa 50 km/h ja taajaman ulkopuolella 80 km/h, ellei kummasakaan tapauksessa liikennemerkein ole muuta osoitettu (LM 1988).

Toisaalta ajoneuvon nopeus on ensisijaisesti sovitettava liikenneturvallisuuden edellyttämälle tasolle ottaen huomioon muun muassa tien kunnon, sään, kelin, näkyvyyden, ajoneuvon kuorman sekä liikenneolosuhteet. Ajoneuvo on lisäksi *"voitava pysäyttää ajoradan näkyvällä osalla ja kaikissa ennalta arvattavissa tilanteissa"* (LM 1982b).

Tieliikennettä koskevien nopeusrajoitusten määrittelyyn on annettu ohjeita Tiehallinnon julkaisussa *"Nopeusrajoitukset"* (Tiehallinto 2009). Julkaisussa todetaan, että: *"Suomessa käytössä oleva nopeusrajoitusjärjestelmä koostuu yleisistä nopeusrajoituksista sekä tiekohtaisista ja paikallisista nopeusrajoituksista."* Yleiset nopeusrajoitukset ovat taajamassa 50 km/h ja taajaman ulkopuolella 80 km/h, tiekohtaisina nopeusrajoituksina käytetään ohjeen mukaan: *"normaalisti 120, 100, 80 ja 60 km/h. Myös arvoja 70, 50, 40 ja 30 km/h voidaan käyttää rajoitettavan kohteen erityispiirteiden perusteella, kahta alinta lähinnä taajamissa ja kylissä."* Lisäksi taajamissa ei ohjeen mukaan pidä käyttää korkeampaa rajoitusta kuin 60 km/h. (Tiehallinto 2009, s. 13.)

Suojateiden kohdalla käytettävien ajoneuvoliikenteen nopeusrajoitusten osalta julkaisussa ohjeistetaan seuraavasti: *"Suojateiden yhteydessä rajoitus on taajamakeskustoissa ja asuntoalueilla yleensä 40 km/h tai 30 km/h. Muualla taajaman alueella selkeässä ympäristössä, jossa ei ole erityisiä kevyttä liikennettä synnyttävää toimintaa, suojatien kohdalla rajoitus voi olla myös 50 km/h. Korkein suojateiden yhteydessä käytettävä rajoitus on 60 km/h, ja sitä käytetään liikennevalo-ohjatuilla teillä."* (Tiehallinto 2009, s. 35.)

Taajaan asuttujen alueiden nopeusrajoitusten osalta julkaisussa todetaan, että: *"Maankäyttöä palvelevilla teillä käytetään yleensä rajoitusarvoja 40 km/h ja 30 km/h. Keskustan ja asuntoalueiden ohi kulkevilla korkealuokkaisilla väylillä, joiden kevyen liikenteen ja liittymäjärjestelyt ovat turvallisia, voidaan käyttää rajoituksina 50 km/h ja 60 km/h."* (Tiehallinto 2009, s. 35.)

Julkaisussa annetaan myös suosituksia väylän liikenteellisen tehtävän ja maankäytön huomioimiseen nopeusrajoitusta määritettäessä. Näitä suosituksia on koottu taulukoihin 5.1 ja 5.2.

Taulukko 5.1 Väylän liikenteellisen tehtävän ja maankäytön huomioiminen taajamatien nopeusrajoituksessa. Lihavoinnilla on merkitty yleisimmin kysymykseen tuleva rajoitusarvo. (Tiehallinto 2009, s. 36.)

Taajamatien suhde maankäyttöön	Taajamatien liikenteellinen tehtävä		
	PAIKALLINEN VÄYLÄ	KOKOAVA VÄYLÄ	PÄÄVÄYLÄ
PALVELEE MAANKÄYTTÖÄ Suorat tonttiliittymät, esimerkiksi taajaman keskustatie	20... 30 ...40	30 ...40	30 ...40
TAAJAMAN LÄPIKULKU Maankäyttöalueen keskellä, risteävää kevyttä liikennettä, tontit liittyvät sivukatujen kautta		30... 40 ...50	30... 40 ...50
KESKUSTAN OHIKULKU Maankäyttöaluetta sivuava, vähän kevyttä liikennettä, tontit liittyvät sivukatujen kautta		30... 40 ...50	40... 50 ...60

Taulukko 5.2. Nopeusrajoituksen määrittäminen väylän liikenteellisen tehtävän, väylän ja sitä ympäröivän maankäytön suhteen, liikennejärjestelyjen ja turvallisuustilanteen perusteella. Lihavoinnilla on esitetty yleisin kysymykseen tuleva rajoitusarvo. (Tiehallinto 2009, s. 36.)

Nopeusrajoitus	Maankäyttöä palveleva paikallinen väylä
20 km/h	Asuntoalueen pihakatu, keskustan kävelypainotteinen katu
30 km/h	Asuntoalueen tonttikatu, keskustan asuntokatu
40 km/h	Työpaikka-alueen tonttikatu
	Maankäyttöä palveleva kokoava väylä tai pääväylä
30 km/h	Asuntoalueella, keskustan kauppakatu, taajaman keskustatie
40 km/h	Asuntoalueella, jos suojatiellä on saarekkeet ja korotukset Muu kuin keskustan kauppakatu tai asuntokatu Keskustan kauppakatu, jos suojatiellä on saarekkeet ja korotukset Työpaikka-alueella oleva katu
	Läpikulkua palveleva kokoava väylä
30 km/h	Vaaralliseksi koetun tai todetun kohteen kohdalla Koulun tai muun erityishuomiota edellyttävän kohteen läheisyydessä
40 km/h	Asuntoalueella Keskusta-alueella ja työpaikka-alueella
50 km/h	Työpaikka-alueella, jos suojatiellä on saarekkeet
	Läpikulkua palveleva pääväylä
30 km/h	Vaaralliseksi koetun tai todetun kohteen kohdalla Koulun tai muun erityishuomiota edellyttävän kohteen läheisyydessä
40 km/h	Asuntoalueella Keskusta-alueella ja työpaikka-alueella
50 km/h	Asuntoalueella, jos kevyt liikenne risteää eri tasossa tai valo-ohjattuna Työpaikka-alueella, jos suojatiellä on saarekkeet
	Ohikulkua palveleva kokoava väylä
30 km/h	Vaaralliseksi koetun tai todetun kohteen kohdalla Koulun tai muun erityishuomiota edellyttävän kohteen läheisyydessä
40 km/h	Asuntoaluetta sivuttaessa Keskustaa ja työpaikka-aluetta sivuttaessa
50 km/h	Asuntoaluetta ja keskustaa sivuttaessa, jos suojateillä on saarekkeet Työpaikka-aluetta sivuttaessa
	Ohikulkua palveleva pääväylä
40 km/h	Vaaralliseksi koetun tai todetun kohteen kohdalla Koulun tai muun erityishuomiota edellyttävän kohteen läheisyydessä
50 km/h	Edellyttäen, että suojatiellä on vähintään saarekkeet
60 km/h	Kevyen liikenteen eritasojärjestely tai valo-ohjaus Liittymät kanavoituja 3-haaraliittymiä tai kiertoliittymiä Ei sovellu valo-ohjaamattomiin 4-haaraliittymiin

Liikenneviraston ohjeessa jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelusta (Liikennevirasto 2014a) ohjeistetaan suojatietyyppin valintaa taajamatyypisessä ympäristössä. Ohjeen mukaan kadun nopeusrajoituksen ollessa 50 tai 60 km/h, on suojatielle moottoriajoneuvoliikenteen määrästä riippumatta lähtökohtaisesti asennettava liikennevalot. Ainoastaan jos suojatie sijaitsee taajaman keskusta-alueen ulkopuolella tai suojatien läheisyydessä ei ole merkittävää palvelukeskittymiä, kouluja, palvelutaloja tai muita vastaavia kohteita, niin suojatie voidaan toteuttaa kavennettuna tai keskisaarekkeellisenä valo-ohjauksen sijaan. Ohjeistus on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3 Uuden suojatietyyppin valinta suojatietarpeen ylittyessä taajamatyypisessä ympäristössä (Liikennevirasto 2014a, s. 96).

Autoliikenteen nopeusrajoitus	Tarve	Liikennemäärä < 4000 ajon./vrk	Liikennemäärä ≥ 4000 ajon./vrk	
≤ 40 km/h	suuri	korotettu suojatie tai liittymä, keskisaareke taikka yksi- tai kaksipuolinen kavennus (kavennuksessa ei kohtaamista: leveys 3,5m; kavennuksessa kohtaaminen: leveys 5,5m)	korotettu suojatie tai liittymä, keskisaareke taikka yksi- tai kaksipuolinen kavennus (kavennuksessa ei kohtaamista: leveys 3,5m; kavennuksessa kohtaaminen: leveys 5,5m)	
	normaali	suojatiemerkintä (yhtenäinen ylitysmatka ≤ 7 m)		
50 km/h	suuri	valo-ohjattu suojatie		(1.
	normaali	kavennettu suojatie, jossa kohtaaminen mahdollista (leveys 5,5m) tai keskisaareke (yhtenäinen ylitysmatka ≤ 7m)	valo-ohjattu suojatie	
60 km/h	suuri	valo-ohjattu suojatie		(2. (3.
	normaali	valo-ohjattu suojatie		

(1. Valo-ohjaus on ensisijainen ratkaisu myös silloin kun on useampi kuin yksi saman suunnan kaista yhtäjaksoisesti ylittettävänä.

(2. Nopeusrajoituksen alentaminen 50 km/h:iin ja suojatien toteuttaminen keskisaarekkeellisenä, jos liikennenympäristö tukee ratkaisua. Jos nopeusrajoitus lasketaan pistemäisesti 50 km/h:ssa, on nopeusrajoitusmerkin yhteyteen laitettava aina ennakkovaroitusmerkki.

(3. Liikennevalo- ja eritasoratkaisut ovat usein vaihtoehtoisia järjestelyitä paikallisten olosuhteiden sekä väylän liikenteellisten ominaisuuksien mukaan.

Tarve on "suuri", jos

- alueella on paljon jalankulkijoita, kuten taajamien keskustoissa tai palvelukeskittymien läheisyydessä
- merkittävästi lapsia, ikääntyneitä tai liikuntaesteisiä.

Suojatien yhteyteen merkitään pyöräilijälle pyörätien jatke tiemerkintäohjeen mukaisesti.

5.3.2 Ajoradan kaarresäde

Kaarteessa liikkuvaan ajoneuvoon kohdistuu sivukiihtyvyys, jonka suuruus riippuu sekä kaarresäteestä että ajoneuvon nopeudesta. Lisäksi mitä suurempi ajonopeus on, niin sitä pienemmät sivukiihtyvyydet koetaan epämiellyttävinä (Liikennevirasto 2012c, s. 54). Sivukiihtyvyyden ohje- ja raja-arvot on esitetty taulukossa 5.4

Taulukko 5.4 Sivukiihtyvyyden perusarvot (Liikennevirasto 2013, s. 14).

Mitoitusnopeus (km/h)	Sivukiihtyvyys (m/s ²)	
	Ohje-/enimmäisarvo Hyvä/tyydyttävä	Välttävä
30	1.70	2.20
40	1.50	2.00
50	1.30	1.80
60	1.10	1.60
70	1.00	1.45
80	0.90	1.30
100	0.70	1.00
120	0.60	0.80

Suomessa Liikenneviraston hallinnoimalla maantieverkolla ei kuitenkaan pelkästään tien geometrian perusteella aseteta paikallista nopeusrajoitusta. Sen sijaan tienpitäjä voi aseta enimmäisnopeussuosituksen, joiden käytöstä on annettu ohjeistus Tiehallinnon julkaisussa "Nopeusrajoitukset" (Tiehallinto 2009).

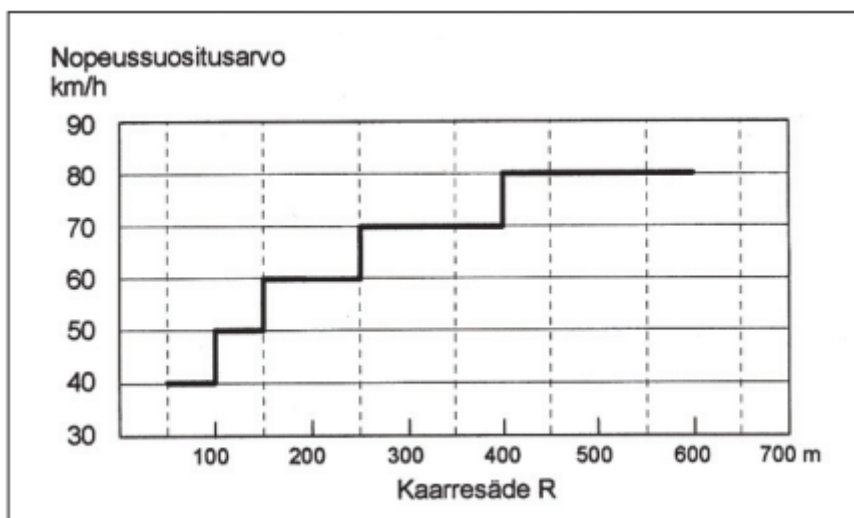
Ohjeen mukaan enimmäisnopeussuosituksia käytetään *"enimmäkseen yksittäisissä pienisäteisissä kaarteissa, joiden vuoksi rajoitusta ei haluta alentaa koko tieosalla tai rajoituksen alentaminen pelkästään kaarteiden kohdalla lisäisi häiritsevästi rajoituksen vaihtelua."*

Ohjeessa sanotaan enimmäisnopeussuositusten käytöstä myös seuraavasti: *"Suositusarvot ovat yleensä 80 - 40 km/h. Enimmäisnopeuden suositusta käytetään vain, jos määritetty arvo on 20 km/h tai enemmän alle nopeusrajoitusarvon. Jos tielle tulee useampia suosituksia, jotka ovat 40 km/h alle rajoituksen, tulee harkita uudelleen nopeusrajoituksen tasoa."* (Tiehallinto 2009, s. 27.)

"Enimmäisnopeuden suositukset ovat tarpeellisia varsinkin yllättäen suoran tiejakson jälkeen tulevissa jyrkissä kaarteissa sekä poikkeuksellisen pitkissä yhtäjaksoisissa kaarteissa." (Tiehallinto 2009, s. 26–27.)

Paikallisten nopeusrajoitusten käytöstä todetaan seuraavasti: *"Rajoittaminen edellyttää olosuhteita, joissa turvallinen nopeus on alempi kuin muualla ko. tiellä tai liikenne aiheuttaa vakavia melu- ym. haittoja ympäristölle. Nopeuden alentamisen perusteena on tavallisesti tienvarren maankäyttö ja kevyt liikenne. Yksistään tien geometrian perusteella paikallista rajoitusta ei yleensä aseteta, mutta se otetaan huomioon, jos rajoittamiseen päädytään."* (Tiehallinto 2009, s 13.)

Suosittelvat enimmäisnopeusarvot tien kaarresäteiden perusteella on esitetty kuvassa 5.2.



Kuva 5.2. Tiehallinnon enimmäisnopeussuosituks valtion tieverkolle kaarteisiin (Tiehallinto 2009, s. 27).

5.3.3 Näkemäalueet maanteiden tasoliittymissä

Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa on säädetty maanteiden kaarteissa, maanteiden liittymissä, maanteiden ja merkittävien yksityisteiden liittymissä, rautateiden ja maanteiden sekä rautateiden ja yksityisteiden liittymissä vaadittavista näkemäalueista. Maanteiden liittymissä vaadittavat näkemäalueet on esitetty kuvassa 5.3 ja vaadittujen näkemäalueiden mitat taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5 Maantien tasoliittymien näkemäalueiden mitat (LVM 2011).

Mitoitusnopeus (km/h)	Pysähtymisnäkemä L_p ¹⁾ (m)	Kohtaamisnäkemä L_k ¹⁾ (m)	Ohitusnäkemä L_o (m)	Liittymisnäkemä L_l ²⁾ (m)
≤ 30	25 (20)	50 (40)	-	60 (40)
40	35 (30)	70 (60)	-	80 (60)
50	55 (45)	110 (90)	550	105 (80)
60	75 (65)	150 (130)	600	130 (100)
70	95 (85)	190	650	160 (120)
80	120 (105)	240	700	200 (150)
90	150	300	800	230 (190)
100	180	360	850	270 (240)
110	220	440	900	320 (300)
120	260	-	-	370 (360)

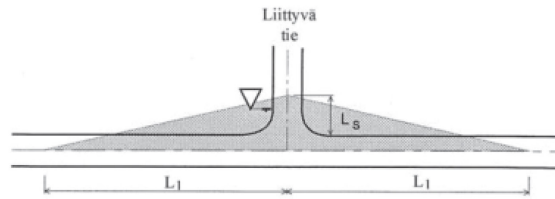
¹⁾ suluissa mainittuja arvoja voidaan käyttää erityisistä syistä taajamaolosuhteissa.

²⁾ suluissa mainittuja arvoja voidaan käyttää erityisistä syistä.

Suomessa voimassa olevien maanteitä ja katuja koskien ohjeiden perusteella voitaneen todeta, että jalankulkijoille tarkoitettujen raitiotien ylityspaikat suositellaan valo-ohjattaviksi, kun raitiotien nopeusrajoitus on 50 km/h tai enemmän. Kaupunkien keskusta-alueilla raitiotielle sopiva nopeusrajoitus olisi 30–40 km/h ja keskusta-alueen reuna-alueilla radan erottelusta riippuen 50–60 km/h.

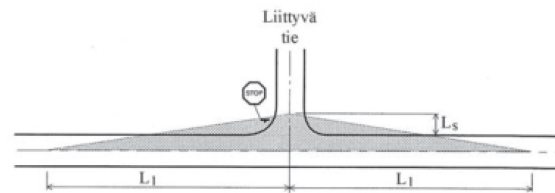
TAPAUS 1

Liittyvältä tieltä tulevalla on väistämismääräys



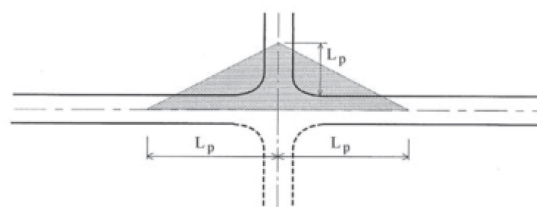
TAPAUS 2

Liittyvältä tieltä tulevalla on liikennemerkillä osoitettu pakollinen pysäyttäminen



TAPAUS 3

Tiet ovat etuajo-oikeussuhteiltaan samanarvoiset



L_1 = Liittymisnäkemä, ks. 4 §
 L_p = Pysähtymisnäkemä, ks. 4 §
 L_s = Etäisyys päätien ajoradan reunasta

Liittyvän suunnan etäisyys L_s ¹⁾

Tapaus 1	20 m (15 m) maaseudulla
	15 m (10 m) taajamassa
Tapaus 2	10 m (6 m)

¹⁾ Suluissa olevia arvoja voidaan käyttää 4 §:n 2 momentissa tarkoitetuista erityisistä syistä.

Kuva 5.3. Maantien tasoliittymien näkemäalueet (LVM 2011).

5.4 Raitioliikenteen nopeusrajoituksia koskevat määräykset muualla Euroopassa

Raitioliikennettä säädellään Euroopassa monilla eri tavoilla. Raitioliikennettä koskevaa EU-tasosta lainsäädäntöä ei ole, vaan nämä asiat on jätetty EU:n jäsenmaiden vastuulle subsidiariteettiperiaateen (l. läheisyysperiaatteen) mukaisesti. Joissakin maissa on erillisiä raitioliikennettä koskevia lakeja tai asetuksia, toisissa maissa taas raitioliikennettä säädellään osana tie- tai rautatieliikenteeseen liittyvää lainsäädäntöä. Näiden lisäksi eri raitiotieiden liikennöintiä voidaan säädellä muun muassa kaupunki- tai osavaltiokohtaisiin liikennöintimääräyksiin, toimintaohjeisiin tai muihin säädöksiin. Muutamissa maissa sovelletaan lisäksi kokonaan tai osittain Saksan liittotasavallan raitiotieasetusta (BOStrab), joka onkin muodostunut eräänlaiseksi de facto -standardiksi alallaan.

5.4.1 Saksa

Saksassa on voimassa koko liittovaltiota koskeva raitiotieasetus (BOStrab), jossa on säädetty muutamassa kohdassa raitioliikenteen suurimmista sallituista ajonopeuksista. Pykälässä 49 mainitaan, että katuradoilla ja erotetuilla radoilla ei ole sallittua ajaa näkemien varassa yli 70 km/h nopeudella. Pykälässä 50 taas mainitaan, että kunkin rataverkon suurimman sallitun nopeuden määrää tekninen valvontaelin ja tätä alhaisemmista paikallisista nopeusrajoituksista päättää rataverkkoa hallinnoivan organisaation liikennepäällikkö. Kuitenkaan katuradoilla raitiovaunut eivät saa liikennöidä muuta liikennettä nopeammin. Muita BOStrabissa mainittuja nopeusrajoituksia ovat pysäkin ohitus pysähtymättä enintään 40 km/h tuntinopeudella, ja ilman mekaanista lukkoa olevaan vastavaihteeseen saa ajaa enintään 15 km/h nopeudella. (BMV 1987). Vaihteita koskevista nopeusrajoituksista kerrotaan lisää luvussa 5.5.2.

BLFA BOStrabin toimesta laadituissa raitioteiden ratasuunnittelua koskevissa teknisissä säännöissä mainitaan, että erotetuilla ja erillisillä rataosuuksilla olevien raideyhteyksien ja raiteiden haarautumien kohdalla suurimman sallitun ajonopeuden pitäisi olla vähintään 50 km/h, jos näitä raiteita pitkin kulkee säännöllistä henkilöliikennettä (BLFA BOStrab 1993, s. 14).

Lisäksi yllämainituissa raitioteiden ratasuunnittelua koskevissa teknisissä säännöissä todetaan, että katuradoilla ja erotetuilla radoilla ratasuunnittelussa käytettävä ohjenopeus pitäisi olla vähintään 50 km/h ja erillisillä radoilla vähintään 70 km/h (BLFA BOStrab 1993, s. 14).

5.4.2 Ruotsi

Ruotsin osalta työssä perehdyttiin Göteborgin raitioteiden liikennöintimääräyksiin. Määräykset vaikuttivat olevan hyvinkin yksityiskohtaisia, ja näiden suuren määrän vuoksi luetelo Göteborgin raitioteilla voimassa olevista nopeusrajoituksista on esitetty liitteessä 1 (suomennos tämän työn tekijän) (Trafikkontoret 2016, s. 43–44).

Olennoisimmat Göteborgin raitioliikennettä koskevat nopeusrajoitukset ovat: 1) 30 km/h nopeusrajoitus suoralla raiteella sekä myötä- että vastavaihteisiin (myös silloin kun vaihdeopastin on toiminnassa) ja lisäksi raideristeyksiin suoralla raiteella; 2) 15 km/h nopeusrajoitus vaihteen ollessa kaarteessa sekä myötä- että vastavaihteisiin (myös silloin kun

vaihdeopastin on toiminnassa) ja lisäksi kaarteissa oleviin raideristeyksiin; 3) Erotettuja ratoja (särskild banvall) koskeva yleinen 60 km/h nopeusrajoitus, joka on voimassa myös tasoristeysten kohdalla.

5.4.3 Norja

Bergenin raitiotien Bybanenin toimintaohjeissa (Bybanen 2018a, s. 13) on määrätty useita erilaisia raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituksia. Koko rataverkolla suurin sallittu ajonopeus on 70 km/h ja rataverkko on jaettu neljään osaan, joista kullekin on määrätty oma rataosakohtainen nopeusrajoituksensa seuraavasti:

Byparken - Bystasjonen:	40km/h
Bystasjonen - Florida:	30km/h
Florida - Slettebakken:	50km/h
Slettebakken - Flesland:	70km/h

Rataosakohtaisista nopeusrajoituksista voidaan poiketa alaspäin merkitsemällä raitioliikennettä koskeva nopeusrajoitus raitioliikenteen omilla nopeusrajoitusmerkeillä (Bybanen 2018a, s. 13).

Näiden lisäksi Bybanenin toimintaohjeissa määrätään suurimmasta sallitusta ajonopeudesta seuraavissa tapauksissa (Bybanen 2018a, s. 14):

- Yksiraiteisilla rataosuuksilla 50 km/h
- Näkemien varassa ajettaessa 70 km/h
- Opastimien varassa ajettaessa erotetuilla ja erillisillä radoilla 70 km/h
- Katuradoilla 50 km/h
- Pysäkin ohitus pysähtymättä 40 km/h
- Työmaa-alueilla 15 km/h
- Kävelykaduilla 15 km/h
- Tilapäisessä vaihteessa 10 km/h
- Kääntösilmukoissa 15 km/h

Vaihteiden, raideristeysten ja kääntösilmukoiden osalta toimintaohjeissa todetaan, että näitä koskevat nopeusrajoitukset ovat voimassa, kunnes raitiovaunu on kokonaan ylittänyt kyseisen kohteen, ja näitä nopeusrajoituksia ei erikseen merkitä nopeusrajoitusmerkeillä maastoon (Bybanen 2018a, s. 13). Bergenin raitiotiellä vaihteissa ja raideristeyksissä noudatettavista nopeusrajoituksista kerrotaan tarkemmin luvussa 5.5.2.

5.5 Muita raitioliikenteen nopeusrajoituksiin vaikuttavia tekijöitä

Edellä on luotu katsaus raitiotie-, maantie-, rautatie- ja metrolinnoituksen nopeusrajoituskäytäntöihin Suomessa, sekä raitioliikennettä koskeviin yleisiin nopeusrajoituksiin muualla maailmassa. Raitioiteilla on myös vaihteita ja raideristeyksiä, jotka usein rajoittavat suurinta sallittua nopeutta. Tämän lisäksi eri maissa ja kaupungeissa on erilaisia ohjeita, joissa säädetään esimerkiksi raitiotien tasoristeyksessä vaadittavista turva-alueista tai määrätään erityisiä nopeusrajoituksia tietyille erikseen mainituille rataosuuksille.

5.5.1 Raiteen kaarresäde

Raitiovaunun on kaarteissa yleensä hiljennettävä nopeuttaan sekä liikenneturvallisuuteen että matkustusmukavuuteen liittyvistä syistä. Liian suuri ajonopeus kaarteissa lisää myös radan ja vaunun pyörien kulumista sekä melua.

Vaunu ei saa kaarteissa suistua radalta tai kaatua. Samoin vaunussa seisten matkustavat eivät saisi kaarteiden takia kaatua, joten raitioteiden ja rautateiden suunnittelua käsittelevässä kirjallisuudessa on kiskokaluston ajodynaamisiin ominaisuuksiin pohjautuen päädytty antamaan suurimmaksi sallituksi sivuttaiskiihtyvyyden maksimiarvoksi kaarteissa $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$. (VDV 2007, s. 80–81).

Bund-Länderfachausschuss BOStrabin laatimissa raitioteiden ratasuunnittelua koskevissa teknisissä säännöissä mainitaan, että kaarteet pitäisi yleisesti suunnitella niin, että kalustoon kohdistuva sivuttaiskiihtyvyys on pieni ja positiiviseen suuntaan ($a_q \sim 0,2 \text{ m/s}^2$). Normaalioloissa kalustoon kohdistuvan sivuttaiskiihtyvyyden ei pitäisi olla suurempi kuin $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$ ja poikkeustapauksissa raja-arvo on $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ (BLFA BOStrab 1993, s. 16).

Suurin sallittu nopeus kaarteissa voidaan laskea, sivuttaiskiihtyvyyden arvon ollessa $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$, kaarresäteen r sekä raiteen kallistuksen u avulla kaavalla 5.1:

$$v = \sqrt{\frac{r \cdot (u + 150)}{11,8}} \text{ (km/h)} \quad (5.1)$$

Raiteen kaarresäde voidaan laskea nopeuden v , sivuttaiskiihtyvyyden a_q sekä raiteen kallistuksen u avulla kaavalla 2:

$$r = (11,8 \cdot v^2) \cdot (r - 153 \cdot a_q) \text{ (km/h)} \quad (5.2)$$

Edellä oleviin kaavoihin 5.1 ja 5.2 perustuen saadaan taulukosta 5.6 haluttua ajonopeutta vastaavat kaarresäteet sivuttaiskiihtyvyyden normaaliarvolla, kun raiteelle haluttu kallistus on ennalta tiedossa (HKL 2016, s. 9):

Taulukko 5.6 Kaarresäteet erillisradalla ilmoitetulla kallistuksella, nopeudella ja sivuttaiskiihtyvyyden normaaliarvolla (HKL 2016, s. 9).

$a(q) = 0,65 \text{ m/s}^2$		Kaarresäde					
Radan kallistus	Nopeus	15 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	70 km/h
0 mm (0 %)	27 m	48 m	107 m	190 m	297 m	428 m	582 m
20 mm (2 %)	23 m	40 m	89 m	159 m	247 m	356 m	485 m
50 mm (5 %)	18 m	32 m	72 m	127 m	198 m	285 m	387 m
70 mm (7 %)	-	28 m	63 m	111 m	174 m	251 m	341 m
105 mm (10,5 %)	-	23 m	52 m	92 m	144 m	208 m	283 m

Vastaavasti sivuttaiskiihtyvyyden maksimiarvoja vastaavat kaarresäteet saadaan taulukosta 5.7 (HKL 2016, s. 9).

Taulukko 5.7. Kaarresäteet erillisradalla ilmoitetulla kallistuksella, nopeudella ja sivuttaiskiihtyvyyden ääriarvolla (HKL 2016, s. 9).

$$a(q) = 0,98 \text{ m/s}^2$$

Radan kallistus	Kaarresäde						
	Nopeus 15 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
0 mm (0 %)	18 m	31 m	71 m	126 m	197 m	283 m	386 m
20 mm (2 %)	22 m	28 m	62 m	111 m	174 m	250 m	340 m
50 mm (5 %)	28 m	24 m	53 m	94 m	148 m	212 m	289 m
70 mm (7 %)	-	21 m	48 m	86 m	134 m	193 m	263 m
105 mm (10,5 %)	-	19 m	42 m	74 m	116 m	167 m	227 m

Toisaalta mitä voimakkaammin kaarre on kallistettu, niin sitä tärkeämpää olisi pyrkiä ajamaan siinä kaarresäteen ja kallistuksen perusteella määriteltyä optiminopeutta. Voisi ajatella esimerkiksi niin, että minimiajonoisuuden pitäisi vastata sivuttaiskiihtyvyyden arvoa $a_q = 0,2 \text{ m/s}^2$. Maksimiajonoisuus kussakin kaarteessa taas voidaan laskea edellä kerrotulla tavalla kaavan 5.1 avulla.

Jos raiteelle joudutaan asettamaan pistemäinen nopeusrajoitus raiteen kaarteiden välittömään läheisyyteen, niin tällöin voidaan taulukoiden 5.8 ja 5.9 avulla päätellä vaadittava raiteen kallistus, kun nopeus on tämän pistemäisen nopeusrajoituksen mukainen ja sivuttaiskiihtyvyyden arvo $a_q = 0,2 \text{ m/s}^2$. Seuraavaksi voidaan näistä taulukoista katsoa, että jos edellä mainittu pistemäinen nopeusrajoitus joskus voidaan poistaa, niin mikä olisi sivuttaiskiihtyvyyden normaaliarvoa $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$ vastaava ajonoisuus, kun raiteen kaarresäde säilyy ennallaan.

Taulukko 5.8. Sivuttaiskiihtyvyyksiä $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$ ja $a_q = 0,2 \text{ m/s}^2$ vastaavat kaarresäteet ilmoitetulla raiteen kallistuksella u raideleveyden ollessa 1435 mm.

KAARRESÄTEET (m) NORMAALIRAIDELEVEYDELLÄ (1435 mm) ILMOITETULLA RAITEEN KALLISTUKSELLE (mm)

Keskeiskiihtyvyydet $0,65 \text{ m/s}^2$ (normaali) ja $0,2 \text{ m/s}^2$ (minimi)

	0,65	0,2	0,65	0,2	0,65	0,2
Nopeus km/h	Kallistus mm		Kallistus mm		Kallistus mm	
	20	20	40	40	60	60
10	10	23	8	17	7	13
15	22	52	19	38	17	29
20	40	93	34	67	30	52
25	62	146	53	104	46	81
30	89	210	76	150	67	117
40	158	373	135	267	118	208
50	247	583	212	418	185	326
60	356	840	305	602	266	469
70	484	1143	415	819	363	638
80	632	1492	542	1070	474	834

Taulukko 5.9. Sivuttaiskiihtyvyyksiä $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$ ja $a_q = 0,2 \text{ m/s}^2$ vastaavat kaarresäteet ilmoitetulla raiteen kallistuksella u raideleveyden ollessa 1435 mm

KAARRESÄTEET (m) NORMAALIRAIDELEVEYDELLÄ (1435 mm) ILMOITETULLA RAITEEN KALLISTUKSELLE (mm)

Keskeiskiihtyvyydet $0,65 \text{ m/s}^2$ (normaali) ja $0,2 \text{ m/s}^2$ (minimi)

	0,65	0,2	0,65	0,2	0,65	0,2
Nopeus km/h	Kallistus mm		Kallistus mm		Kallistus mm	
	80	80	100	100	150	150
10	7	11	6	9	5	7
15	15	24	13	20	11	15
20	26	43	24	36	19	26
25	41	67	37	56	30	41
30	59	96	53	81	43	59
40	105	171	95	145	76	105
50	164	267	148	226	118	163
60	237	384	213	325	170	235
70	322	523	290	443	232	320
80	421	683	379	578	303	418

Taulukoiden 5.6–5.9 perusteella voidaan päätellä, että nopeusalueella 10–30 km/h ajonopeuden aleneminen $\sim 8 \text{ km/h}$ pienentää kalustoon kohdistuvan sivuttaiskiihtyvyyden arvoa likimain $0,65 \text{ m/s}^2 \rightarrow 0,2 \text{ m/s}^2$ ja nopeuden kasvu 5 km/h suurentaa kalustoon kohdistuvan sivuttaiskiihtyvyyden arvoa likimain $0,65 \text{ m/s}^2 \rightarrow 0,98 \text{ m/s}^2$. Nopeusalueella 40–80 km/h vastaavat sivuttaiskiihtyvyyden muutokset tapahtuvat ajonopeuden alentuessa 10–15 km/h ja ajonopeuden kasvaessa $\sim 10 \text{ km/h}$.

5.5.2 Vaihteet ja raideristeykset

Vaihteiden ja raideristeysten tapauksessa raitiovaunun suurimpaan sallittuun nopeuteen vaikuttaa raiteen geometrian lisäksi vaihteen kääntötapa, vaihteeseen liittyvät turvalaitteet sekä matalauraisista risteyksistä mahdollisesti aiheutuvat nopeusrajoitukset.

Helsingin raitioteillä on nykyään kaikissa vaihteissa ja raideristeyksissä 10 km/h nopeusrajoitus kaluston ja radan kestävyys-, liikenneturvallisuuden sekä raitioliikenteen aiheuttamaan melun ja värinän vuoksi. Ennen vuotta 2009 ainoastaan vastavaihteissa on liikenneturvallisuussyistä ollut voimassa 10 km/h nopeusrajoitus (HSL 2011). HKL:n mukaan myötävaihteissa nopeusrajoitus voisi olla korkeintaan $20\text{--}30 \text{ km/h}$, jos myötävaihde on aukiajettava, eli se ei käänny automaattisesti oikeaan suuntaan raitiovaunun lähestyessä vaihdetta. (Myllymäki 2009). Toisaalta eräältä raitiotievaihteiden valmistajalta saadun tiedon mukaan he suosittelevat maksimissaan 15 km/h nopeusrajoitusta, jos myötävaihde ajetaan auki. (Sainio 2018a).

Saksan raitiotieasetuksen mukaan jos vastavaihteeseen ajetaan yli 15 km/h , niin vaihteessa on oltava mekaaninen lukko, joka varmistaa vaihteen kielten lukkiutumisen ääriasentoon (BMV 1987, 50 §). Lisäksi vaihteen kielten asento on osoitettava raitiovaunun kuljettajalla

vaihdeopastimen avulla, jos vastavaihteeseen ajetaan yli 15 km/h, eikä vaihde ole asetinlaitteen valvoma (BMV 1987, 51 §).

Göteborgin raitioiteita koskevassa liikenneturvallisuusohjeessa mainitaan nopeusrajoitus 15 km/h, ellei vastavaihteen yhteydessä ole vaihteen asentoa ilmoittavaa vaihdeopastinta. BOStrabista poiketen Göteborgin ohjeessa ei kuitenkaan ole mainintaa siitä, että vaihteessa pitäisi olla mekaaninen lukko, jos vaihteessa sallittu ajonopeus on suurempi kuin 15 km/h. Edelleen BOStrabista poiketen Göteborgin ohjeessa on yleinen 15 km/h nopeusrajoitus kaarteissa oleviin myötä- ja vastavaihteisiin sekä raideristeyksiin. Käytännössä tämä 15 km/h rajoitus koskee sekä tavallisten vaihteiden poikkeavia raiteita että kaarrevaihteiden molempia raiteita. Tämän lisäksi Göteborgin ohjeessa on yleinen 30 km/h nopeusrajoitus suoralla raiteella vaihteissa ja raideristeyksissä. (Göteborg 2016, s. 44–45)

Bergenin raitiotiellä vaihteissa ja raideristeyksissä noudatettavat nopeusrajoitukset on koottu taulukkoon 5.10.

Taulukko 5.10. Nopeusrajoitukset Bergenin Bybanenilla vaihteissa ja raideristeyksissä (Bybanen 2018a, s. 14)

Nopeusrajoitukset vaihteissa ja raideristeyksissä Bergenin raitiotiellä		syväurainen, lukittamaton		syväurainen, lukittu, automaattikäyttö	
	matalaurainen	poikkeava raide	suora raide	poikkeava raide	suora raide
myötävaihde	15	15 [1]	70 [2]	15 [1]	70
vastavaihde	15	15	15	15 [1]	70
[1] 20 km/h, jos raiteen kaarresäde ≥ 50 m					
[2] 30 km/h, jos vaihteen kielisovitus ajetaan auki					

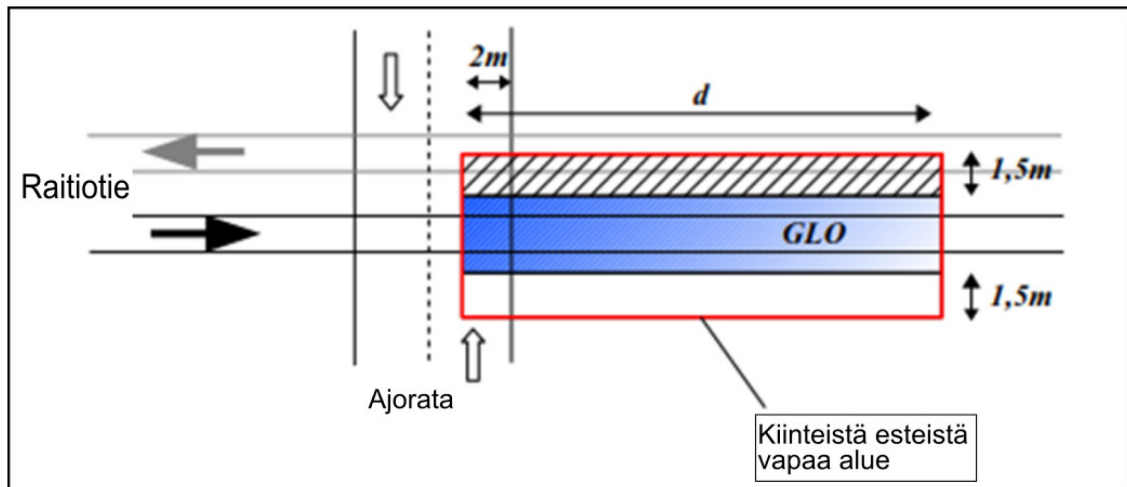
5.5.3 Turva-alueet raitiotien tasoristeyksissä

Välittömästi raitiotien tasoristeyksen takana tulisi olla tyhjää tilaa, jotta mahdollisen törmäyksen sattuessa raitiovaunuun törmäävä ajoneuvo ei jäisi puristuksiin raitiovaunun ja kiinteän esteen väliin.

Mitoitusohjeita raitioteiden tasoristeysten turvalliseen suunnitteluun on annettu ainakin Ranskan valtion ympäristö-, energia- ja meriasioista vastaavan ministeriön alaisen, hiihtohisseistä, köysiradoista ja muista pakko-ohjatuista liikennevälineistä vastaavan laitoksen (STRMTG, Le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés) ohjeessa *Guide d'implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways / voies routières* (Ohjeet kiinteiden varusteiden ja laitteiden asentamiseen raitioteiden ja maanteiden risteyksiin) (STRMTG 2012).

STRMTG:n ohjeen mukaan risteyksen taakse tulevan turva-alueen mitat on esitetty kuvassa 56. Kuvassa 5.4 oleva alue GLO tarkoittaa raiteen aukean tilan ulottumaa, jonka leveys on raitiovaunun kinemaattinen kuormaulottuma lisättynä 15 cm raiteen molemmille puolille. Raitiovaunun kinemaattisella kuormaulottumalla taas tarkoitetaan yleensä raitiovaunun korin leveyttä lisättynä sekä vaunun korin kaarteissa vaatimilla ylityksillä, vaunun korin heilahtelun vaatimalla tilalla sekä liikkuvan kaluston että radan kulumisesta aiheutuvalla

mahdollisella lisätilan tarpeella. (Soveltaen SFS-EN 15273-1:2013 + A1:2016 sekä BLFA BOStrab 1996)



Kuva 5.4. Tasoristeyksen tai tasoliittymän takana tarvittava turva-alue (STRMTG 2012, s. 7).

Turva-alueen pituus lasketaan kaavalla 53:

$$d = \frac{v_0^2}{(2 \cdot a)} + v_0 \cdot t_r \quad (53)$$

jossa hidastuvuuden arvo on raitiovaunun tapauksessa $a = 2,8 \text{ m/s}^2$, tasoristeykseen tai -liittymään saapuvan raitiovaunun nopeus on v_0 (m/s), ja reaktioaika $t_r = 0,85 \text{ s}$. Nopeusalueella 15–50 km/h tarpeellisten turva-alueen pituudet on esitetty taulukossa 5.11.

Taulukko 5.11 Esimerkkejä tarvittavan turva-alueen pituudesta d eri nopeuksilla v_0 .

Raitiovaunun nopeus v_0	15 km/h	20 km/h	25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50 km/h
Alueen d pituus raiteen suunnassa	6,6 m	10,2 m	14,5 m	19,5 m	25,0 m	31,5 m	38,5 m	46,3 m

Ohjeessa todetaan, että olemassa olevissa raitiotien tasoristeyksissä/-liittymissä turvallisuutta kannattaa ensisijaisesti parantaa tasoristeyksen/-liittymän havaittavuutta parantamalla ja täten ensisijaisesti vähentämällä potentiaalisten onnettomuuksien määrää. Vasta toissijaisena ratkaisuna on sitten tässä ohjeessa mainittujen turva-alueiden rakentaminen. Turva-alueen pituuden laskemisessa käytettävä nopeus rataosan "luonnollinen" ajonopeus, jota voidaan tasoristeyksen/-liittymän kohdalla alentaa korkeintaan taulukossa 5.12. ilmoitetun verran. "Luonnollinen" ajonopeus on STRMTG:n ohjeessa määritelty siten, että esimerkiksi kaarteissa sivuttaiskiihtyvyyden suurus ei ylitä arvo $a_q = 1 \text{ m/s}^2$, ja tällä perusteella laskennallisesti saatu ajonopeus pyöristetään ylöspäin 5 km/h tarkkuuteen. (STRMTG 2012, s. 9.). Ja kuten taulukosta 5.12 nähdään, niin rataosan "luonnollisesta" ajonopeudesta riippuu, kuinka paljon nopeusrajoitusta voidaan tasoristeyksen/-liittymän kohdalla alentaa, jotta nopeusrajoitus olisi raitiovaununkuljettajan näkökulmasta vielä mielekäs, toisinsanoen nopeusrajoitus ei saisi olla liian alhainen suhteessa rataosan "luonnolliseen" ajonopeuteen.

Taulukko 5.12 Suurin mahdollinen mielekäs rajoitus ajonopeuteen (STRMTG 2012, s. 9).

Luonnollinen ajonopeus	Suurin mahdollinen mielekäs rajoitus ajonopeuteen
> 50 km/h	-20 km/h
30 – 50 km/h	-15 km/h
20 – 30 km/h	-10 km/h
< 20 km/h	-5 km/h

5.5.4 Rataosakohtaiset nopeusrajoitukset

Ruotsissa Göteborgin liikennelaitoksen raitioliikenteen liikenneturvallisuutta koskevissa määräyksissä on säädetty tietyille rataosuksille nopeusrajoitus 30 km/h. Nämä rataosat on lueteltu liitteessä 1 (Trafikkontoret 2016, s. 82–83). Samoin Norjassa Bergenin raitiotie on jaettu neljään osaan, joista jokaiselle on määrätty oma katonopeutensa. Näistä enemmän luvussa 5.4.3 (Bybanen 2018a, s. 13). Sekä Göteborgin että Bergenin tapauksissa raitioliikenteelle voidaan merkitä edellä mainittuja rataosa- tai tilannekohtaisia rajoituksia pienempiä nopeusrajoituksia erillisillä nopeusrajoitusmerkeillä.

5.6 Raitioliikenteen nopeusrajoitusten ilmoittaminen

Raitioliikennettä koskevat nopeusrajoitukset voidaan ilmoittaa raitiovaununkuljettajille liikennöintimääräysten, kiinteiden nopeusmerkkien, muuttuvien nopeusmerkkien tai erilaisten liikennetelematiikkaratkaisujen avulla.

5.6.1 Kiinteiden nopeusrajoitusmerkkien toteutusvaihtoehtoja

Raitioteiden nopeusrajoitusten merkintään on kolme toisistaan periaatetasolla eroavaa tapaa; Nopeusrajoitukset voidaan merkitä vain turvallisuuden kannalta aivan välttämättömiin kohteisiin (esim. vaihteet), nopeusrajoituksia voidaan käyttää ilmoittamaan optimaalista ajonopeutta (esim. loivat kaarteet) tai nopeusrajoitukset voidaan merkitä kaikkialle rataverkolla.

Nopeusrajoitusmerkkiä voi myös edeltää ennakkomerkki (etumerkki), erityisesti jos nopeusrajoitusmerkin näkemä on rajoitettu ja/tai nopeusrajoitus alenee merkittävästi. Esimerkiksi Tampereen tulevalle raitiotielle nopeusrajoituksen ennakkomerkkiä on tarkoitus käyttää jos alku- ja loppunopeuden ero on yli 15 km/h sekä alkuopeus on yli 40 km/h (Raitiotieallianssi 2018).

Luvussa 2.2. mainituilla tutustumismatkoilla havaittiin kahta erilaista tapaa merkitä raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituksia; Amsterdamissa nopeusrajoitusmerkkejä näkyi todella vähän ja lähinnä luvussa 6 esitellyn B1-luokan tyyppisillä radoilla. Münchenissä nopeusrajoitusmerkkejä näkyi lähinnä jyrkissä kaarteissa sisältäen vaihteiden poikkeavat raitteet ja näitä nopeusrajoitusmerkkejä edelsi aina ennakkomerkki. Joitain 30 ja 40 km/h nopeusrajoitusmerkkejä näkyi myös, mutta näiden rajoitusten merkitsemisessä ei vaikuttanut olevan yhtenäistä logiikkaa.

Kiinteät nopeusrajoitusmerkit voidaan kiinnittää joko ajolangan kannatinlankaan, ratajohtopylvääseen, rakennukseen tai rakennelmaan, liikennevalopylvääseen tai omiin erillisiin pylvääseen. Nopeusrajoitusmerkkien muoto voi olla suorakulmio, ympyrä, vinoneliö tai jokin muu geometrinen muoto. Isossa-Britanniassa (kuva 5.5) käytetään vinoneliön muotoisia nopeusrajoitusmerkkejä, Saksassa (kuva 5.6) nelikulmion muotoisia ja Ruotsissa (kuva 5.7) taas pyöreitä. Kiinnitysratkaisujen suhteen yhtenäistä käytäntöä ei näytä olevan, kuitenkin uusissa raitiotiejärjestelmissä tunnutaan suosivan nopeusrajoitusmerkkien asentamista ratajohtopylväisiin tai omiin pylväisiin kannatinlanka-asennusten sijasta.

Kiinnitysratkaisuista kannatinlankakiinnitys vähentää raitioliikennettä koskevien nopeusrajoitusmerkkien sekoittumisen riskiä muun liikenteen nopeusrajoituksiin, mutta haittapuolelta on hankalampi huollettavuus. Nopeusrajoitusmerkin havaittavuus ei myöskään ole paras mahdollinen ja merkkien sijoitus on mahdollista vain kannatinlankojen kohdalle eli vain tietyn välimatkan välein.

Jos nopeusrajoitusmerkit asennetaan ratajohtopylväisiin tai liikennevalopylväisiin, niin tällöin merkkien havaittavuus on hyvä ja huollettavuus helppo, mutta sijoitus on samalla tavalla epätarkka kuin kannatinlanka-asennuksessa.

Asennus rakennukseen tai rakennelmaan vaatii suostumuksen kiinteistön/rakennelman omistajalta ja merkki sijoittuu yleensä merkittävästi sivuun raitiovaununkuljettajan näkömälinjasta.

Erilliset pylväät vaativat eniten tilaa, mutta pylväät voidaan erityisesti rataluokissa A1, A2 ja B1 sijoittaa melko vapaasti. Rataluokkien kuvaukset löytyvät luvusta 6.2.

Suorakulmaiset raitioliikenteen nopeusrajoitusmerkit vaativat vähiten tilaa ja pienentävät sekoittumisvaaraa muun liikenteen nopeusrajoitusmerkkeihin. Pyöreät merkit muistuttavat eniten muun liikenteen nopeusrajoitusmerkkejä, eli ovat helppoja ymmärtää, mutta toisaalta on olemassa sekaantumisen vaara raitioliikenteen ja muun liikenteen nopeusrajoitusmerkkien välillä. Vinoneliön muotoiset merkit erottuvat parhaiten kaikista muista liikennemerkeistä, mutta ne vievät myös eniten tilaa. Merkin kokoa voi tosin pienentää merkitsemällä nopeusrajoituksesta näkyviin ainoastaan täydet kymmenet, ja jos nopeusrajoitus päättyy numeroon "5", niin numero 5 merkitään tällöin yläindeksiksi.

Raitioliikenteen nopeusrajoitusmerkkien erilaisia muotoja ja asennustapoja on esitetty kuvissa 5.5–5.7.



Kuva 5.5 Nopeusrajoitusmerkki, vinoneliö, ratajohtopylväässä, Iso-Britannia (Murray-Rust 2018).



Kuva 5.6 Nopeusrajoitusmerkki, suorakulmio, kannatinlangassa, Saksa.



Kuva 5.7 Nopeusrajoituksen päättymismerkki, ympyrä, omassa pylväässä, Ruotsi.

5.6.2 Liikennetelematiikan hyödyntämiseen perustuvat ratkaisut

Erilaisia liikennetelematiikkaan pohjautuvia vaihtoehtoja raitioliikenteen nopeusrajoitusten ilmoittamiseen raitiovaunukuljettajille tultaneen jatkossa hyödyntämään. Esimerkkejä vastaavista toteutuksista löytyy sekä maantie-, metro- että rautatieliikenteestä.

Muuttuvien nopeusrajoitusmerkkien hyötyinä olisivat tarvittaessa sään, kelin tai liikennetilanteen mukaan säädettävät nopeusrajoitukset. Haittana olisivat kiinteitä nopeusrajoitusmerkkejä merkittävästi suuremmat investointi- ja käyttökustannukset. Muuttuvat nopeusrajoitusmerkit voidaan asentaa kannatinlankaa lukuun ottamatta samoihin paikkoihin, kuin kiinteätkin nopeusrajoitusmerkit.

Yksinkertaisin vaihtoehto korvata kiinteät tai muuttuvat nopeusrajoitusmerkit olisi asentaa raitiovaunun ohjaamoon suurimman sallitun ajonopeuden ilmoittava näyttö joko erillisenä näyttönä tai nopeusmittarin yhteyteen toteutettuna ratkaisuna. Teknisesti nopeusrajoitusluku olisi myös mahdollista heijastaa tuulilasiin niin sanotun HUD-järjestelmän avulla.

Pidemmälle kehitetty ratkaisu on raitiovaunukuljettajan ajo-opastusjärjestelmä, jossa kuljettajalle näytettäisiin sekä kulloinkin voimassa olevaa nopeusrajoitusta että tavoitteellista ajonopeutta, jota noudattamalla kuljettajan olisi mahdollista pysyä annetuissa aikatauluissa. Tällaisen järjestelmän huono puoli on kuitenkin se, että tavoitenopeudessa pysyminen voi hallita liikaa ajamista, mikä taas aiheuttaa helposti liikenneturvallisuusriskin.

Samantapainen ongelma liittyy vakionopeudensäätimeen, jonka käyttö helposti osaltaan vähentää raitiovaunukuljettajan tarkkaavaisuutta ja herkkyyttä vaunun nopeuden säätelyyn. Kuitenkin mukautuva vakionopeudensäädin vähentäisi onnettomuuden todennäköisyyttä, koska järjestelmä jarruttaisi vaunun tarvittaessa pysähdyksiin ennen törmäystä.

Raitiovaunun kuljettajan kytkettävissä oleva nopeudenrajoitin estäisi tahattomat nopeudenylitykset. Tällainen järjestelmä on käyttökelpoisimmillaan silloin kun ajoreitti koostuu pitkistä sellaisista tie-, katu- tai rataosuuksista, joilla liikenneympäristö on ristiriidassa asetun nopeusrajoituksen kanssa.

Paikkatietoon tai baliiseihin pohjautuva automaattinen nopeusrajoitusjärjestelmä olisi parhaimmillaan helppo ylläpitää ja se estäisi tahattomat suurimman sallitun ajonopeuden ylitykset yleensä luotettavasti, mutta saattaa olla haastavaa rakentaa järjestelmästä kokonaisuudessaan niin luotettava, että raitiovaununkuljettaja voitaisiin ylinopeuden sattuessa varmuudella vapauttaa henkilökohtaisesta vastuusta.

Törmäyksenestojärjestelmä muistuttaa mukautuvaa vakionopeudensäädintä, mutta tämä järjestelmä ei sisällä automaattista nopeudensäätelyä, vaan ainoastaan hidastaa vaunun nopeutta tai tarvittaessa pysäyttää vaunun törmäyksen estämiseksi.

Puoliautomaattisella ajolla (STO) tarkoitetaan järjestelmää, jossa kuljettaja sulkee raitiovaunun ovet pysäkeillä, antaa raitiovaunulle lähtökäskyn ja voi tarvittaessa ajaa raitiovaunua (HKL 2005).

Täysin automatisoitu raitioliikenne voisi tapahtua kokonaan ilman vaunussa olevaa henkilöä, tai vaunussa voisi olla vaunuemäntä/-isäntä.

Syyskuussa 2018 maailmalla on tiettävästi käytössä yksi ainoa puoliautomaattinen raitiotiejärjestelmä, vuoden 2014 marraskuussa käyttöön otettu Dubain raitiotie Yhdistyneissä Arabiemirikunnissa. Täysautomaattista raitiovaunua testataan Saksassa Berliinin lähellä sijaitsevassa Potsdamin kaupungissa, samoin Pariisin liikennelaitos RATP testaa Vitry-sur-Seinen varikolla täysautomaattista raitiovaunua. Törmäysvaroitussjärjestelmiä on koekäytössä ainakin Saksassa Frankfurtin sekä Sveitsissä Baselin alueen liikennelaitoksilla. (TAUT 2018.)

Taulukossa 5.13. on alustavasti pohdittu joidenkin liikennetelematiikkaan perustuvien nopeudenhallintajärjestelmien mahdollisia hyötyjä ja haittoja.

Taulukko 5.13 Erilaisten telematiikkaratkaisujen potentiaalisia hyötyjä ja haittoja

Ratkaisu	Edut	Haitat
Sähköiset nopeusmerkit	Sään ja kelin huomiointi	Kallis, vähäinen tarve
Nopeusrajoitusnäyttö	Kuljettajalle helppo	Vaatii katseen siirtämisen
Nopeusrajoitusnäyttö, HUD	Ei vaadi katseen siirtämistä	Saattaa häiritä kuljettajan näkemistä
Ajo-opastusjärjestelmä	Vakioi potentiaalisesti parhaiten eri kuljettajien ajotapoja	Heikentää tarkkaavaisuutta
Vakionopeudensäädin	Pitkillä pysäkkiväleillä vähentää tarvetta tarkkailla nopeusmittaria	Voi heikentää reagoitiherkkyttä
Vakionopeudensäädin, mukautuva	Voi helpottaa ajoa ruuhkautuneessa liikenteessä sekakais-toilla	Käyttö vaatii tarkkaavaisuutta
Nopeudenrajoitin, kytkettävä	Estää tahattomat nopeusrajoituksen ylitykset	Lisää hieman kuljettajan työkuormaa
Nopeudenrajoitin, GPS	Vaivaton kuljettajalle	Mahdolliset luotettavuusongelmat
Törmäyksenestojärjestelmä	Parantaa turvallisuutta	Tekniikka vielä hieman epäkypsää
Puoliautomaattinen ajo	Poistaa inhimillisen erehdyksen mahdollisuuden	Tekniikka ei vielä kypsää
Täysautomaattinen ajo	Poistaa inhimillisen erehdyksen mahdollisuuden	Tekniikka ei vielä kypsää

6 Rataluokat nopeusrajoitusten perusteena

6.1 Yleistä

Raitiotien luokittelu ratatyypin perustella voisi olla käytännöllinen työkalu sekä raitiotien nopeusrajoitusten määrittelyn tueksi että raitiotien kustannus-, liikennöinti- ja aikataulu- sekä liikennejärjestelysuunnitteluun. Rataluokkien hyödyntäminen jo raitiotien suunnittelun alkuvaiheessa ohjaisi liikennejärjestelyjen suunnittelua tästä eteenpäin ja mahdollistaisi melko aikaisessa vaiheessa sekä raitiotien kustannustason (l. radan rakenteet ja rataan liittyvät varusteet ja laitteet olisi suunniteltu jo esisuunnitteluvaiheessa, kustannusepävarmuudet kohdistuisivat enää lähinnä radan pohjarakenteisiin sekä materiaalien ja työn yksikköhintoihin) että liikennöinti- ja aikataulujen (l. ei tarvitsisi keskustella siitä, millä nopeudella raitiovaunut voivat risteyksessä X liikennöidä, kun liikennöinti- ja nopeus määntyisi rataluokan perusteella).

Kun uutta raitiorataa suunnitellaan, niin esisuunnitteluvaiheessa päätetään radan linjaus kaupunkialueen sisällä suurpiirteisesti. Seuraavaksi yleissuunnitteluvaiheessa päätetään radan linjauksesta tarkemmin, eli kulkevatko raitiovaunut muun liikenteen kanssa samoilla kaistoilla, muusta liikenteestä erotetulla radalla vai täysin muusta liikenteestä eristetyllä radalla. Jokaisella vaihtoehdolla on erilaisia ominaisuuksia; täyseristetty rata on kallis, mutta matka-ajat ovat luotettavia. Katurata taas on edullinen, mutta herkkä muun liikenteen aiheuttamille häiriöille. Erotettu rata sijoittuu edellä mainittujen rataluokkien väliin sekä kustannusten että matka-aikojen luotettavuuden suhteen. Lisäksi eri rataluokissa hie- man eri asiat määrittelevät rataosien suurimmat sallitut nopeudet.

Raitiotielle asetettavien nopeusrajoitusten tarkastelu lienee helpointa aloittaa ääripäistä: Kadulla muun liikenteen kanssa samoilla kaistoilla kulkevat raitiovaunut voivat kulkea enintään samaa nopeutta kuin muu liikenne; Jos taas rata on aidattu, eikä sillä ole tasoristeyksiä muun liikenteen kanssa, niin nopeutta rajoittavat ainoastaan radan kaarteiden säteet, kaluston ominaisuudet sekä käytössä oleva turvalaitetekniikka.

Jos taas rata kulkee pari metrin etäisyydellä ajoradasta ajoradan sivussa tai keskellä katu- ajoradasta puuriveillä erotettuna ja raitiotiellä on tasoristeyksiä vain pysäkkien kohdilla, niin rataosuuden luokittelu on hankalampaa. Tutkimuksen lähdeaineistossa on tullut vastaan periaatteiltaan kolmea erilaista tapaa luokitella raitiotieitä:

Raitiotiet voidaan ensinnäkin jaotella sen mukaan, kulkeeko rata kadulla vai ei. Tällainen kaksitasoinen luokittelu on käytössä muun muassa Ruotsissa (Trafikkontoret 2016). Myös Norjassa (Kuehn 2016) on käytössä kaksitasoinen luokittelu siten, että jokaisella rataosuu- della raitiotien liikennöinti tapahtuu joko tieliikenteen tai rautatieliikenteen säädoksiin pe- rustuen. Sovellettava säädöstö ei kuitenkaan välttämättä riipu siitä, miltä liikenneympäristö näyttää, vaan myös keskellä kävelyaluetta kulkevalla radalla voidaan liikennöidä rauta- tiesäädösten mukaan. Kaksitasoinen luokittelu on esimerkiksi kaavoituksen näkökulmasta selkeä, koska asemakaavassa raitiotie kulkee tällöin joko katualueella tai erikseen rai- tiotielle asemakaavassa varatulla alueella.

Toisaalta raitiotiet voidaan jakaa myös kolmeen luokkaan, jolloin ajokaistoilla kulkevan radan ja toisaalta muusta liikenteestä täysin erillään kulkevan radan välimuotona pidetään sellaista rataa, joka kulkee katutilassa mutta erotettuna muusta samansuuntaisesta liiken-

teestä. Tällaista luokittelua käytetään erityisesti Saksassa (BMV 1987). Toisaalta myös Ruotsissa raideliikenteestä vuoteen 2010 asti vastannut valtiollinen virasto Banverket jaoteli raitiotiet kolmeen luokkaan raitioteiden suunnittelua ja rakentamista koskevassa ohjeessaan "Spårväg – Guide för etablering": Sekaliikenteeseen (*Spår i gatumiljö med blandtrafik*), omilla kaistoillaan kulkevaan raitioliikenteeseen (*Spår i gatumiljö på reserverat utrymme*) sekä omalla radallaan kulkevaan raitioliikenteeseen (*Spår på egen banvall*) (Banverket 2009, s. 15).

Banverketin ja BOStrabin käyttämissä raitioteiden kolmiportaisissa luokitteluissa on kuitenkin se ero, että Banverketin luokittelussa erotteluksi riittää sulkuviiva (Banverket 2009, s. 15), mutta BOStrabin 16 § 6. momentissa määritellään erotettu rata (*Besondere Bahnkörper*) sellaiseksi radaksi, joka on erotettu muusta liikenteestä "reunakivillä, kaiteella, pensasaidalla tai puurivillä, tai vastaavalla kiinteällä esteellä" (BMV 1987, 16 §).

Vieläkin hienojakoisempaa luokittelua käytetään USA:ssa, jossa Yhdysvaltain liittovaltion liikennehallinnon (FTA) rahoittaman tutkimusohjelman "Transit Cooperative Research Program" (TCRP) julkaisussa "Integration of Light Rail Transit into City Streets" (TCRP 1996) suositellaan raitioiteille kaksitasoista luokittelua, jossa on kolme päätason luokkaa ja näillä yhteensä yhdeksän alaluokkaa. Raportissa suositeltu rataluokittelu on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. TCRP:n suosittelema rataluokittelu (TCRP 1996, s. 2).

CLASS	CATEGORY	DESCRIPTION OF ACCESS CONTROL
Exclusive	Type a	Fully grade-separated
Semi-Exclusive	Type b.1	Separate right-of-way
	Type b.2	Shared right-of-way protected by 6-inch high curbs and fences
	Type b.3	Shared right-of-way protected by 6-inch high curbs
	Type b.4	Shared right-of-way protected by mountable curbs, striping, and/or lane designation
	Type b.5	LRT/Pedestrian mall adjacent to a parallel roadway
Non-Exclusive	Type c.1	Mixed traffic operation
	Type c.2	Transit mall
	Type c.3	LRT/Pedestrian mall

TCRP:n käyttämässä luokituksessa rataluokka A sisältää ainoastaan muusta liikenteestä täysin eristetyt radat. Rataluokkaan B.1 kuuluvat katuverkosta erillään kulkevat radat, joilla kuitenkin on tasoristeyksiä muun liikenteen kanssa. Rataluokkiin B.2–B.5 kuuluvat kaikki omilla kaistoillaan kulkevat raitiotiet. Rataluokkiin C.1–C.3 taas kuuluvat kaikki sellaiset raitiotiet, joilla muu liikenne käyttää raitioliikenteen kanssa samoja kaistoja. Tähän sisältyvät sekä ajokaistoilla, joukkoliikennekaduilla että kävelykaduilla kulkevat raitiotiet.

TCRP:n raitioteiden luokittelu vastaa Banverketin luokittelua sikäli, että kummassakin radan erotteluksi riittää sulkuviiva, kun taas BOStrabissa käytetyssä luokittelussa erotte-

luksi vaaditaan jonkinlainen kiinteä este raitioliikenteen ja muun samaan suuntaan kulkevan liikenteen väliin.

Samassa TCRP:n julkaisussa esitetään suosituksena, että luokan B radoilla raitioliikenteelle suurimman sallitun nopeuden määräisi muulle ajoneuvoliikenteelle sallittava nopeus, ellei tasoristeyksiä ole varustettu automaattisilla puomeilla (TCRP 1996, s. 13). TCRP:n ohje eroaa tässä suhteessa BOStrabista, jossa taas 20 § 5. momentissa ainoastaan todetaan, että tasoristeyksen varoituslaitos voidaan varustaa BOStrabin liitteessä 1 olevan kuvan 3 mukaisilla puomipuomeilla (BMV 1987).

Luvussa 6.2 käydään läpi eri rataluokkien ominaisuuksia kolmiportaisen luokittelun pohjalta. Tämä luokittelu perustuu tämän työn tekijän alunperin vuonna 2011 työtehtävissään tekemään luonnokseen jo yleissuunnitteluvaiheessa hyödynnettäviksi raitioteiden rataluokiksi.

Luokittelun pohjana on edellä mainittu BOStrabin kolmiportainen luokittelu, jota on täydennetty siten, että kukin rataluokka on jaettu kahtia sen perusteella, miten voimakkaasti rata on eroteltu muusta liikenteestä. Tämän lisäksi kävelykatua on käsitelty kolmantena katuratatyypinä.

Rataluokat kuvattuna lyhyesti:

A. Erillinen rata

A1. Raitiotie kulkee täysin tai lähes täysin eristettynä muusta liikenteestä. Suurin sallittu nopeus > 70 km/h.

A2. Raitiotie kulkee eristettynä muusta liikenteestä, mutta tasoristeyksiä on melko tiheässä. Suurin sallittu nopeus ≤ 70 km/h.

B. Erotettu rata

B1. Raitiotie kulkee katutilassa, mutta rata on erotettu muusta samaan suuntaan kulkevasta liikenteestä. Suurin sallittu nopeus yleensä ≤ 70 km/h.

B2. Raitiotie kulkee katutilassa eroteltuna (matalalla esteellä) muusta samaan suuntaan kulkevasta liikenteestä. Suurin sallittu nopeus sama kuin kadun nopeusrajoitus, yleensä 40–50 km/h.

C. Katurata

C1. Raitiotie kulkee omilla kaistoillaan katutilassa. Suurin sallittu nopeus sama kuin kadun nopeusrajoitus, yleensä 40–50 km/h.

C2. Raitiotie kulkee samalla kaistalla muun moottoriajoneuvoliikenteen kanssa. Suurin sallittu nopeus sama kuin kadun nopeusrajoitus, yleensä 30–50 km/h.

C3. Raitiotie kulkee kävelykadulla, aukiolla tai vastaavassa tilassa. Suurin sallittu nopeus 20 km/h.

6.2 Rataluokkien kuvaukset

Erilliset radat

A1: Radalla on erittäin vähän tai ei lainkaan tasoristeyksiä muun liikenteen kanssa ja rata on suurelta osin aidattu. Raitiovaunujen sallittu nopeus riippuu lähinnä raidegeometriasta ja pysäkkivälistä. Suunnittelun lähtökohtana on kuitenkin vähintään 70 km/h ajonopeus,

liikennöinti tapahtuu asetinlaitteen ohjaamana, ja sekä rata että kalusto on varustettava JKV-laittein. Rataluokka A1 vastaa BOStrabissa määriteltyjä erillisiä ratoja (*Unabhängige Bahnkörper*) (BMV 1987).



Kuva 6.1. Rata kulkee täysin erillään muusta liikenteestä. Rataluokka A1.

A2: Rata kulkee selvästi erillään muusta liikenteestä, mutta tasoristeyksiä on melko tiheässä. Rata voidaan tarvittaessa aidata. Raidegeometrian vaatimukset ovat lievempiä kuin rataluokassa A1. Liikennöinti voi tapahtua joko näkemien varassa tai asetinlaitteen ohjaamana, kuten rataluokassa A1. Radan suurin sallittu nopeus korkeintaan 70 km/h, jotta liikennöinti voi tapahtua myös näkemien varassa.



Kuva 6.2. Rata kulkee suurimmaksi osaksi erillään muusta liikenteestä. Rataluokka A2.

Erotetut radat

B1: Rata kulkee ajoradan reunassa tai leveällä keskialueella ajoratojen välissä ja on erotettu muusta liikenteestä reunakivillä, kaiteella, pensasaidalla, puurivillä, tai vastaavilla kiinteillä esteillä. Radan kriteerit vastaavat pitkälti rataluokkaa B2, mutta raitiovaunujen tavoitteellinen ajonopeus on rataluokassa B1 korkeampi kuin rataluokassa B2, joten raitioliikenteen ja muun liikenteen erottelun on oltava voimakkaampaa. Radan erottelun voimakkuus muusta liikenteestä määrää raitioliikenteen suurimman sallitun nopeuden. Radan nopeusrajoitus on yleensä korkeintaan 70 km/h, jotta liikennöinti voi tapahtua myös näkemien varassa.

Radan ja ajoradan välissä on jalankulkijoiden ylityspaikalla oltava keskikoroke tai sekä raitiotien että ajoradan ylitys on ohjattava liikennevaloilla. Kevyen liikenteen ylityspaikalla on oltava varoituslaitos, paitsi jos ylityspaikka on näkemiensä puolesta turvallinen ja rata ylitetään kääntöportin tai vastaavan rakenteen kautta. Raitiotien tasoristeyksessä on oltava varoituslaitos, paitsi jos tasoristeystä ei normaalisti ylitä vuorokauden aikana yli sataa moottoriajoneuvoa ja tasoristeys on näkemiensä puolesta turvallinen (BMV 1987, 20 §).



Kuva 6.3. Rata selvästi erotettu samaan suuntaan kulkevasta liikenteestä. Rataluokka B1.

B2: Rata kulkee katutilassa ja on erotettu muusta liikenteestä reunakivillä, kaiteella, pensasaidalla, puurivillä, tai vastaavilla kiinteillä esteillä. Radan leveys periaatteessa sallii käyttää muusta liikenteestä eroavaa ajonopeutta ilman törmäysriskiä samaan suuntaan kulkevan liikenteen kanssa. Rataluokassa B2 raitiliikenteen suunnitellut ajonopeudet ovat alhaisempia kuin rataluokassa B1, ja vaadittava erottelun taso on täten alhaisempi. Tärkeimpänä ovat radan riittävä leveys ja rata-alueen riittävä tasoero viereiseen ajorataan tai pyörätiehen nähden, jotta samaan suuntaan kulkeva ajoneuvoliikenne ei vahingossa ajaudu raitiotien aukean tilan ulottuman sisäpuolelle, ja lisäksi radan pintamateriaalin olisi oltava sellainen, että se ei houkuttele ylittämään rataa merkittyjen ylityspaikkojen ja tasoristeysten ulkopuolelta.

Radan ja ajoradan välissä on jalankulkijoiden ylityspaikalla oltava keskikoroke tai sekä raitiotien että ajoradan ylitys on ohjattava liikennevaloilla. Raitiotien tasoristeysten valo-ohjauksen tarve määritellään riskitarkastelun perusteella. Suurin sallittu nopeus sama kuin kadun nopeusrajoitus, yleensä 40–50 km/h. Kuitenkin erikseen laadittavan riskiarvion perusteella voitaisiin sallia myös kadun yleistä nopeusrajoitusta korkeampi nopeusrajoitus raitiotielle.



Kuva 6.4. Rata erotettu samaan suuntaan kulkevasta liikenteestä. Rataluokka B2.

Katuradat

C1: Omalla kaistallaan kulkeva raitiotie, joka on erotettu muusta samaan suuntaan kulkevasta liikenteestä sulkuviivalla tai alle 12 cm reunakivellä. Tähän luokkaan kuuluvat myös ne rataosuudet, jotka on erotettu muusta liikenteestä vähintään 12 cm reunakivellä, mutta raitiotien leveys on kapeampi kuin aukean tilan ulottuman leveys lisättynä raskaan ajoneuvon sivupeilin vaatimalla tilalla. Raitioliikenteen nopeusrajoitus sama kuin kadun nopeusrajoitus, tyypillisesti 40-50 km/h.



Kuva 6.5. Rata erotettuna sulkuviivalla tai kapealla korokkeella samansuuntaisesta liikenteestä. Rataluokka C1.

C2: Raitiotie kulkee samalla kaistalla autoliikenteen kanssa. Raitioliikenteen nopeusrajoitus sama kuin kadun nopeusrajoitus, tyypillisesti 30-50 km/h.



Kuva 6.6. Raitiotie samalla kaistalla autoliikenteen kanssa. Rataluokka C2.

C3: Raitiotie kulkee aukiolla, kävelykadulla tai vastaavalla ensisijaisesti jalankulkijoille tarkoitetulla alueella. Tämän tyyppiset rataosuudet sijaitsevat yleensä kaupungin tai kaupunginosan keskustassa, pysäkkiväli on lyhyt ja raitiovaunun nopeusrajoitus pysäkkien välillä sama kuin kävelykadulla, eli 20 km/h.



Kuva 6.7. Raitiotie kävelykadulla, rataluokka C3.

6.3 Erotetun radan teknisistä vaatimuksista

Kuten luvussa 6.1 todettiin, niin katuradoilla raitioliikenne voi kulkea korkeintaan samaa nopeutta kuin muu liikenne. Jos taas rata on aidattu tai rata kulkee selvästi erillään katu- ja tieverkosta, niin tällöin rata- ja turvalaitetekniset seikat määrittelevät raiteiden suurimmat sallitut nopeudet.

Sen sijaan esimerkiksi puukujanteiden välissä keskellä katua kulkevan raitiotien juridinen asema on Suomessa epäselvä. Ja vielä tätä epäselvempi on sellainen tilanne, jossa raitiotie kulkee kadun sivussa muutaman metrin etäisyydellä ajoradasta.

Minimissään muusta liikenteestä erotetun raitiotien vähimmäisvaatimuksena voisi olla se, etteivät vierekkäin samaan suuntaan kulkeva ajoneuvo ja raitiovaunu voi normaalioloissa törmätä toisiinsa. Samoin ajoradan ja raitiotien välissä olevan esteen pitäisi olla sellainen, ettei ajoneuvo voi vahingossa ajautua sivuttaisen sen yli raitiotien aukean ulottuman sisäpuolelle. Referenssinä voisi tällöin olla upotettava ajoradan reunakivi, jonka korkeus ajoradan päällysteen pinnasta on ohjeiden mukaan $120 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ (Rakennustietosäätiö 2010, s. 394).

Helsingin nykyisillä vaunuilla vaadittaisiin tällöin suoralla raiteella leveyssuunnassa tilaa vähintään 1450 mm raiteen keskilinjalta mitattuna, jotta myös raitiovaunun dynaaminen heilunta tulee huomioiduksi (HKL 2016, s. 12), kun mitoitusperusteena ovat 2400 mm leveät vaunut. HKL:n suunnitteluohjeessa vuodelta 2016 ilmoitetaan ajokaistojen välissä kulkevan kaksiraiteisen erotetun raitiotien lähtökohtaiseksi leveydeksi 8,0 metriä, ja ajoratojen välissä kulkevien raitiovaunukaistojen leveydeksi vastaavasti 6,4 metriä. Kuitenkin tuo 6,4 metriä olisi jo riittävä siihen, ettei viereisellä ajokaistalla ajavan kuorma-auton tai bussin sivupeili osu raitiovaunun sivupeiliin, jos vastakkaisiin suuntiin kulkevien raitiovaunujen väliin vaaditaan 30 cm tilaa, raitiovaunun sivupeilin leveydeksi oletetaan 15 cm, raskaan ajoneuvon sivupeilin leveydeksi 25 cm ja vaaditaan että raitiovaunun ja raskaan ajoneuvon sivupeilien väliin on jätävä tilaa 25 cm (Fiedler 2005, s. 86).

Toisaalta HKL on edellyttänyt NRV 2010 -vaunun tarjouspyynnössä, että kaksiraiteisella suoralla radalla vaunujen väliseksi etäisyydeksi radan poikkisuunnassa on jätävä vähintään 600 mm (Peltola 2010). Tällöin minimileveys "esteettömälle" raitiotielle olisi 6,7 m edellä kuvatulla tavalla mitoitettuna. Toisaalta jos raitiovaunun sivupeilit korvataan kamearoilla, niin 2400 mm leveiden vaunujen tapauksessa riittäisi tällöin 6,4 m leveä rata-alue.

Edellä mainittujen lisäksi yksi erotetun radan kriteeri voisi olla se, että kaikki raitiotien ja muun liikenteen risteämiskohdat on joko merkittävä liikennemerkeillä tasoristeyksiksi/ylityspaikoiksi ja/tai valo-ohjattava. Tällöin ei olisi epäselvyyttä siitä, että myös jalan-kulkijat ovat tällaisilla rataosuuksilla väistämismuuttamattomia raitioliikenteeseen nähden.

Tärkeä selvitettävä asia olisi se, että olisiko mahdollista vapauttaa raitiovaunun kuljettajan edellä kuvatun tyyppisillä erotetuilla ja erillisillä rataosilla ainakin tasoristeyksissä tieliikennelain 3 §:ssä säädetystä yleisestä varovaisuusperiaatteesta: "*Tienkäyttäjän on noudatettava liikennesääntöjä sekä muutenkin olosuhteiden edellyttämää huolellisuutta ja varovaisuutta vaaran ja vahingon välttämiseksi.*". Toisin sanoen raitiovaunua kohdeltaisiinkin tällöin junana eikä eräänlaisena kiskoilla kulkevana bussina.

Uuden tieliikennelain 11 § 1. momentissa säädetään, että tienkäyttäjän on annettava raitiovaunulle esteetön kulku, ellei kyseisessä laissa toisin säädetä. Kuitenkin uudessakin tieliikennelaissa säädetään 3 §:ssä edellä kuvatulla tavalla tienkäyttäjän yleisistä velvollisuuksista, 4 §:ssä tienkäyttäjän ennakoitivelvollisuudesta sekä 5 §:ssä turvallisesta ajoneuvon ja raitiovaunun kuljettamisesta. Myös LVM:n edustajan arvion mukaan raitiovaunun kuljettajaa koskee yleinen varovaisuusperiaate, mutta hänen ei kuitenkaan tarvitse varautua siihen, etteivät muut tienkäyttäjät noudata esimerkiksi liikennevaloja (Kiiski 2018).

7 Tampereen raitiotie esimerkkitapauksena

Tämän diplomityön tekijä on osallistunut Tampereen raitiotiehankkeeseen konsulttina, toimenkuvanaan raitiotien staattisten merkkien (1. radan merkkien) ja nopeusrajoitusten suunnittelua. Osallistuminen Tampereen raitiotiehankkeeseen on antanut perspektiiviä siihen, millaisia haasteita raitiotien liikenteenohjauksen suunnittelussa voi käytännössä ilmetä ja miten eri toteutusratkaisut vaikuttavat sallittuihin nopeuksiin. Eniten haasteita on ilmenyt raitiotien tasoristeyskiesien turvallisuusratkaisujen määrittelystä, koska Suomessa ei toistaiseksi ole suunnitteluohjeita tai viranomaismääräyksiä koskien raitiotien tasoristeyskiesiä. Myöskään raitiotien tasoristeystä ei ole määritetty vuoden 1981 tieliikennelaissa (LM 1982b). Sen sijaan uudessa, vuoden 2020 kesäkuun alussa voimaan tulevassa, tieliikennelaissa on määritetty raitiotien tasoristeys ja siinä noudatettavat väistämissäännöt (LVM 2018, 11 §).

Lukujen 7.1 ja 7.2 lähteinä ovat sekä Tampereen raitiotieallianssin muistiot raitiotien opasteiden suunnittelukokouksista vuosilta 2017 ja 2018 sekä tämän selvityksen tekijän omat muistiinpanot edellä mainituista kokouksista vuodelta 2018 (Peltola 2018) (TRT 2018).

7.1 Lähtökohdat nopeusrajoitusten suunnittelulle hankkeessa

Lähtökohtaisesti Tampereen raitiotiehankkeessa on oltu valmiita käyttämään erityisesti BOStrabia esikuvana (Raitiotieallianssi 2018a), mutta toisaalta on haluttu odottaa käynnissä olevan Tieliikennelain kokonaisuudistuksen tuloksia, eikä tehdä etukäteen siitä mahdollisesti poikkeavia ratkaisuja. Tämä näkyy erityisesti varovaisuutena tasoristeysten määrittelyssä sekä suhtautumisessa raitioliikenteen nopeusrajoituksiin.

7.2 Suunnittelussa kohdattuja haasteita

Kaarteet yleisesti

Katuradoilla voitaneen olettaa raitiovaununkuljettajan hahmottavan kaarteet liikenneympäristön perusteella ja hidastavan riittävästi ennen kaarteiden alkua. Erotetuilla radoilla tilanne on hankalampi, koska kiintopisteitä on vähemmän ja ajonopeudet ovat usein suurempia.

Toisaalta on myös mahdollista, että raitiovaununkuljettajat ajavat kaarteissa tarpeettoman hitaasti. Näin tapahtuu muun muassa Zürichissä, ja paikallinen liikennelaitos (VBZ) onkin päättänyt laskea uudestaan hallinnoimansa rataverkon kaarteita koskevat nopeusrajoitukset Sveitsin liittovaltion liikenteestä vastaavan viraston ohjeiden mukaan ja asentaa kaikkiin kaarteisiin raitioliikennettä koskevat nopeusrajoitusmerkit. Monin paikoin kaarteissa sallitut nopeudet ovat nousseetkin tähän asti yleisesti käytetyistä ajonopeuksista. (Rohrer 2016)

Kaarteet sekä pistemäiset nopeusrajoitukset pysäkkien läheisyydessä

Jos kaarre tai pistemäinen nopeusrajoitus ei satu raitiovaunun ajoprofiilin kannalta optimaalisesti suhteessa pysäkkiin, niin se hidastaa raitiovaunun kulkua pitkällä matkalla, ja ongelma korostuu sitä enemmän, mitä pidempiä liikenteessä käytettävät raitiovaunut ovat.

Pistemäiset nopeusrajoitukset kaarteiden läheisyydessä

Jos raiteen kaarre on kallistettu, niin tällöin on olemassa tietty optiminopeusalue, jolla toisaalta poikittaishiihtävyys ei kasva liian suureksi, mutta toisaalta myöskään sisäkaarteiden

puoleisten pyörien laipat eivät hankaa sisäkiskon ajoreunaa vasten. Ongelma tuli Tampereen projektissa esiin keskusteluissa Hervannan Valtaväylän tasoristeyksiin mahdollisesti vaadittavista nopeusrajoituksista (Sainio 2018b).

Tiheästi vaihtuvat nopeusrajoitukset

Nopeusrajoitus ei myöskään saisi vaihtua liian tiheästi, koska nopeusmerkkien seuraaminen vaatii tällöin tarpeettomasti raitiovaunukuljettajan tarkkaavaisuutta ja lisää ajamisen stressiä. Samoin liian tiheästi vaihtuvat nopeusrajoitukset vähentävät kuljettajien motivaatiota noudattaa rajoituksia edellä mainituista syistä. Kaupunkiympäristössä liikennemerkkien runsaus aiheuttaa myös visuaalisia haittoja.

Nopeusrajoitusten merkitseminen pysäkkien ja vaihteiden kohdalla

Pohdittavana on myös, pitäisikö pysäkkien kohdalla olevat 40 km/h nopeusrajoitukset merkitä, vai riittääkö se, että tästä on maininta raitiovaunukuljettajien toimintaohjeissa tai Tampereen raitiotien liikennesäännöissä tai vastaavassa asiakirjassa.

On myös pohdittu ilman mekaanista lukkoa olevia vaihteita koskevan 15 km/h nopeusrajoituksen merkitsemistarpeesta, mutta näiden osalta todettiin, että lukittavissa ja lukitsemattomissa vaihteissa käytettäväksi ehdotetut erilaiset vaihdeopastimet ilmoittaisivat samalla tästä lukitsemattomia vaihteita koskevasta nopeusrajoituksesta.

Mekaanisesti lukittavien vaihteiden osalta lähtökohtana pidettiin sitä, että poikkeavalle raiteelle olisi oletuksena nopeusrajoitus 15 km/h, ja ainoastaan tästä poikkeavat nopeusrajoitukset merkittäisiin nopeusmerkeillä (Raitiotieallianssi 2018b). Kaarrevaihteiden, tasapuolisten vaihteiden sekä välittömästi vaihteen jälkeen (vaihteen suoralla raiteella) olevien kaarteiden osalta todettiin, että tarvittaessa vaihteen molemmille haaroille voidaan laittaa sellaiset vaihdeopastimet, jotka osoittavat kyseessä olevan poikkeava raide.

Riittääkö se, että tasoristeys on teknisessä mielessä turvallinen?

Turvallisella tasoristeyksellä tarkoitetaan tasoristeystä, joka tienkäyttäjän on mahdollisuus ylittää turvallisesti. Hän voi luottaa turvalaitteisiin, mutta kuitenkin vielä tarpeen vaatiessa pysähtyä raitiotien aukean tilan ulottuman ulkopuolella ja katsomalla varmistua siitä, onko raitiovaunu tai muu kiskoilla kulkeva laite lähestymässä tasoristeystä.

Jos tasoristeyksessä on valo-ohjaus ja näkemäalueet radan molempiin suuntiin ovat riittävät ja valo-ohjauksen toiminta on luotettavaa, niin voidaanko tasoristeys tällöin katsoa niin sanotusti turvallisesti ja lähteä siitä, että julkinen valta on tällöin tehnyt voitavansa? Vai pitääkö viranomaisten lähteä siitä, että onnettomuuksia joka tapauksessa sattuu ja pyrkiä kaikin keinoin vähentämään onnettomuuksien seurauksia?

Raitiotien tasoristeyksen näkemäalueiden tarve

Voidaanko kaupunkiliikenteessä lähteä siitä, että autoilijat noudattavat punaista valoa ja tinkiä raitiotien tasoristeyksen näkemävaatimuksista? Jonkinlainen näkyvyys raitiotielle on joka tapauksessa oltava molempiin suuntiin, kun tienkäyttäjä tekee päätöksen siitä, että onko hänen turvallista lähteä ylittämään rataa. Mutta voidaanko olettaa, että tienkäyttäjän on tiettyssä paikassa aina pysähdyttävä ja katsottava molempiin suuntiin rataa, jotta hän voi havaita lähestyvän raitiovaunun? Vai pitääkö olettaa tietty nopeus, jolla tienkäyttäjä lähes-

tyy rataa? Entä mitkä ovat vaatimukset alustan kitkalle ja geometrialle välittömästi ennen rataa? Tämä koskee erityisesti raskasta liikennettä talvikeleillä.

Jos ajatellaan auton lähestyvän tasoristeystä nopeudella 40 km/h, niin auton kuljettajalla pitäisi lähestyvän raitiovaunun havaittuaan olla mahdollisuus pysähtyä ennen tasoristeystä. Toisin sanoen etäisyyden aikaisimmasta mahdollisesta havaintohetkestä tasoristeysmerkkiin tms. pysähtymiskohtaan pitäisi olla vähintään reaktiomatka + jarrutusmatka.

Nykyinen suositus käytettäväksi reaktioajaksi on 1,5-2,5 s (Liikennevirasto 2012c). Hyvällä kelillä henkilöauto saavuttaa jarrutuksessa maksimissaan noin 9 m/s² hidastuvuuden, mutta jäisellä kelillä hidastuvuus jää noin 1,5 m/s². Raskailla ajoneuvoilla saavutettavat hidastuvuuden arvot jäävät tätä alhaisemmiksi jarrujärjestelmän rakenteen, nastarenkaiden puutteen sekä linja-autojen tapauksessa matkustusmukavuuden ja mahdollisten seisovien matkustajien turvallisuuden vuoksi.

Liikennevalokojeen ja rautatien tasoristeuksen varoituslaitoksen erot

Liikennevalokojeen ja rautatien tasoristeuksen varoituslaitoksen erot herättävät kysymyksiä. Esimerkiksi liikennevalojen tapauksessa punaisen opastimen vikaantuminen aiheuttaa liikennevalojen kytkeytymisen keltavilkulle, kun taas tasoristeuksen varoituslaitoksen punaisen tieopastimen vikaantuminen ainoastaan lähettää tästä ilmoituksen liikenteenohjaukseen. Lisäksi varoituslaitoksen on tällöin jäätävä hälyttämään senkin jälkeen, kun tasoristeuksen tieosuus on teknisesti vapautunut (Liikennevirasto 2014b).

Tasoristeuksen ruuhkautuminen

Tampereella Nekalantien ramppien tasoristeyksessä herätti huolta se, voidaanko luottaa siihen, että Nekalantieltä Hervannan valtaväylälle etelän suuntaan liittyvät autoilijat eivät ruuhka-aikoina jää tasoristeuksen tukkeeksi odottaessaan riittävää aikaväliä Hervannan valtaväylän etelään kulkevan autoliikenteen virrassa, jotta he voisivat turvallisesti liittyä Hervannan valtaväylän liikenteeseen.

Turva-alueet raitiotien tasoristeyksessä

Onnettomuuden sattuessa sekä ajoneuvoon, raitiovaunun että ajoneuvon kyydissä oleviin henkilöihin kohdistuvia vaurioita pahentaa se, jos ajoneuvo kiilautuu törmäyksen jälkeen raitiovaunun ja jonkin kiinteän esteen väliin. Tämän estämiseksi (raitiovaunun kulkusuunnassa) raitiotien tasoristeuksen takapuolella olevalla alueella ei pitäisi olla mitään kiinteitä esteitä tietyllä matkalla ja tiettyä etäisyyttä lähempänä rataa. Ohjeita tasoristeuksen takana olevan turva-alueen mitoittamiseen on annettu ranskalaisessa ohjejulkaisussa *Guide d'implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways / voies routières* (Ohjeet kiinteiden varusteiden ja laitteiden asentamiseen raitioteiden ja maanteiden risteyksiin) (STRMTG 2012). Edellä mainittua STRMTG:n ohjetta on käsitelty kappaleessa 5.5.3.

Tulo erilliseltä tai erotetulta radalta katuradalle

Koska Tampereen raitiotiehankkeessa oli lähtökohtana, että muun liikenteen kanssa samoilla ajokaistoilla kulkeva raitioliikenne noudattaa muun liikenteen nopeusrajoituksia, niin tällöin on myös jollain tavalla merkittävä se, ettei aiemmin merkitty raitiotien nopeusrajoitus ole enää voimassa. Tämä päätettiin hoitaa radan merkillä "Merkitty nopeus päättyy", mutta tietyissä tilanteissa huomattiin silti ongelmia: Raitiovaunun tullessa sekä Toh-

torinpuistossa Hervantajärven suunnasta Insinöörinkadulle että Hämeenkadulle molemmista suunnista, rajoittaa näissä kaikissa kolmessa paikassa radan kaarre nopeudeksi 20 km/h. Kuitenkin Insinöörinkadun/Hämeenkadun alussa oleva tieliikenteen nopeakäyttömerkki sijaitsee kymmeniä metrejä ennen kuin raitiovaunun perä on siirtynyt pois kaarteesta. Mahdollisena ratkaisuna on ehdotettu tieliikenteen nopeakäyttömerkin siirtämistä eteenpäin niin, että raitioliikennettä koskeva radan merkki "Merkitty nopeus päättyy" voidaan sijoittaa nopeakäyttömerkin yhteyteen. Toisena mahdollisena vaihtoehtona pohdittiin raitioliikenteen nopeakäyttömerkkien merkitsemistä sittenkin kaikille rataosuuksille.

Tasoristeyksen vapaanaolon valvonta

Raitioliikenteen ajonopeuden kasvaessa olisi tärkeää varmistaa, että tasoristeys on vapaa raitiovaunun saapuessa siihen. Tavanomaisessa rautatien tasoristeyksessä tämä ei ole yleensä ongelma, koska ajoradalla tasoristeyksen jälkeen on yleensä runsaasti vapaata tilaa. Tampereella huolta ovat herättäneet Nekalantien ramppien tasoristeykset, joista erityisesti Nekalantieltä Hervannan suuntaan johtavalle rampille saattaa ruuhka-aikoina muodostua jonoja Hervannan valtavyöhykkeen suuren autoliikenteen määrän johdosta. Tällöin on olemassa riski, että muut tienkäyttäjät eivät huomio tasoristeystä ja ajoneuvo jäisi seisomaan keskelle tasoristeystä raitiovaunun saapuessa. Ratkaisuksi on ehdotettu hahmontunnistuksella varustettua kameravalvontajärjestelmää tähän tasoristeykseen, joka voisi ilmoittaa sekä raitioliikenteen liikenteenohjaukseen että raitiovaununkuljettajalle esimerkiksi opastimien välityksellä tasoristeyksestä olevasta esteestä.

Raitiovaunuja ajetaan kuitenkin ensisijaisesti näkemien varassa, mistä syystä raitiovaunua voidaan kuljettaa enintään sellaisella nopeudella, että radalla olevan esteen havaitessaan raitiovaunun kuljettaja ehtii pysäyttää vaunun käyttöjarrutuksella ennen estettä. Tällä perusteella edellä kuvatulle tasoristeyksen vapaanaolon valvontajärjestelmälle olisi tarvetta vain, jos tasoristeyksen näkemäalueet eivät ole riittäviä.

Kadun tai maantien rinnalta kulkevan raitiotien tasoristeykset

Kadun tai maantien rinnalla kulkevan raitiotien tasoristeysten turvallisuutta pidettiin ongelmallisena, erityisesti jos raitiotien ja samaan suuntaan kulkevan ajoradan väliin ei mahdu pysähtynyttä ajoneuvoa. Erityisen hankalana pidettiin raitiotien suuntaiselta kadulta tai maantieltä raitiotien yli vasemmalle kääntyvän autoliikenteen turvallisuutta liikennevalojen tai tasoristeyksen varoituslaitoksen vikatilanteissa, koska tällöin kääntyvä auto saattaisi joutua pysähtymään keskelle vastaan tulevan liikenteen ajokaistaa, kun raitiovaunu lähestyy tasoristeystä. Liikennevalo-ohjauksen ja tasoristeyksen varoituslaitoksen vikatilanteiden varalta onkin hyvä toteuttaa järjestelmä, joka ilmoittaa raitiovaununkuljettajalle tästä vikatilanteesta ja samalla määrää raitiovaununkuljettajan noudattamaan erityistä varovaisuutta lähestyessään kyseistä tasoristeystä.

8 Raitioteiden nopeusrajoituskäytäntöjen analyysi

8.1 Haastattelujen ja keskustelujen tulokset SWOT-analyysiin sovitettuna

Haastateltaville esitettiin erityisesti kysymyksiä koskien nopeusrajoitusten määrittelyä ja merkitsemistä eri tyyppisissä raitiotieratkaisuissa. Haastatteluissa esitettiin lisäksi tarkentavia kysymyksiä liittyen nopeusrajoitusten määrittämiseen muussa raideliikenteessä, liikennetelematiikan hyödyntämismahdollisuuksiin sekä lainsäädännön aiheuttamiin rajoitteisiin.

Sekä HKL:n, Trafin että LVM:n edustajien haastattelujen perusteella vaikuttaa siltä, ettei juuri olisi esteitä raitioliikenteen nopeusrajoitusten itsenäiselle määrittämiselle erotetuilla ja erillisillä radoilla. Trafin ja LVM:n edustajat pitivät molemmat tärkeänä sitä, että erotetuksi tai erilliseksi määritelty raitiotie myös visuaalisesti erottuu ajoradoista. HKL:n edustajat olivat luonnollisesti eniten huolissaan liikenneturvallisuuskysymyksistä (Hagberg 2017) sekä (Lähdetie 2017), ja erityisesti Trafin edustaja painotti toiminnanharjoittajan turvallisuusjohtamisjärjestelmän ja riskienhallinnan tärkeyttä (Matilainen 2018).

Taulukko 8.1. Käydyt haastattelut ja keskustelut

Nimi	Organisaatio	Haastattelupäivä	Tehtävänimike	Haastattelun teema
Tero Hagberg	HKL	24.08.2017	Liikennepäällikkö	Toiminnanharjoittajan näkökulma
Artturi Lähdetie	HKL	28.08.2017	Yksikön päällikkö	Toiminnanharjoittajan näkökulma
Olli Matilainen	Trafi	14.08.2018	Tarkastaja	Liikenneturvallisuus
Sauli Sainio	Pöyry	14.08.2018	Ratasuunnittelija	Suunnittelutyön haasteet
Kimmo Kiiski	LVM	16.08.2018	Liikenneneuvos	Liikenneturvallisuus
Jonna Anttila	Tampereen Raitiotie Oy	23.08.2018	Turvallisuusvastaava	Toiminnanharjoittajan näkökulma

8.2 SWOT-analyysin tulokset raitioteiden nopeusrajoitusten määrittämiseen

Tutkimuksen kuluessa ilmeni, että vaihtoehtoja raitioliikenteen nopeusrajoitusten määrittämis- ja merkitsemiskäytännöiksi olisi käytännössä neljä erilaista mallia.

Vaihtoehto yksi (VE1) olisi jatkaa nykyisin Helsingin raitioteilla noudatettavaa käytäntöä, jossa nopeusrajoitukset merkitty ainoastaan vastavaihteisiin, ratatyömaille, sekä sellaisiin kohteisiin, joissa jokin erityinen syy vaatii kuljettamaan raitiovaunua selvästi alhaisemmalla nopeudella, kuin mikä olisi muuten luonteva nopeustaso. Raitiotien ja muun liikenteen risteämiset ohjattaisiin joissain tapauksissa liikennevaloilla, mutta päätös liikennevalojen asettamisesta tehtäisiin ensisijaisesti autoliikenteen tai jalankulkuliikenteen tarpeista lähtien. Raitiovaunusta voitaisiin tarvittaessa varoittaa keltaisilla varoitusvaloilla tai pysäyttää muu liikenne niin sanotuilla Jokeri-valoilla silloin kun raitiovaunu olisi (vuoden 1982 tie-liikennelain mukaan) väistämisvelvollinen muuta liikennettä kohtaan.

Vaihtoehto kaksi (VE2) olisi määritellä ja merkitä raitioliikenteen nopeusrajoitukset eroteuille ja erillisille radoille riippumatta muusta liikenteestä. Tällöin raitioliikenteen haluttu nopeustaso päätettäisiin ensin muun muassa pysäkkivälin, risteysvälin, radan erottelun ja ratageometrian perusteella. Tämän jälkeen viranomaismääräysten ja suunnitteluohjeiden pohjalta määriteltäisiin minkälaisia turvallisuusratkaisuja tämä haluttu nopeusrajoitus vaatisi. Katuradoilla noudatettaisiin edelleen muun liikenteen nopeusrajoituksia ja erotettujen ja erillisten rataosuuksien kaarteisiin nopeusrajoitukset merkittäisiin esimerkiksi vain silloin, jos nopeusrajoitus laskee yli 10 km/h.

Kolmas (VE3) tapa olisi muuten kuten vaihtoehto kaksi, mutta raitioliikenteelle olisi merkitty nopeusrajoitukset myös katuradoille ja myös silloin kun nopeusrajoitus laskee vain 5 tai 10 km/h. Katuradoilla raitioliikenteen nopeusrajoitus saisi kuitenkin olla korkeintaan yhtä suuri kuin muulla liikenteellä.

Neljännessä tavassa (VE4) rataverkon haltija määrittää rataosakohtaiset kattonopeudet, joista voidaan paikallisesti tarvittaessa poiketa alaspäin. Tällaista käytäntöä sovelletaan ainakin Bergenin raitiotiellä (Bybanen 2018a).

Tutkimuksessa hahmotettiin raitioliikenteen nopeusrajoitusten määrittämis- ja merkitysmiskäytäntöjen realistisiksi toteuttamisvaihtoehdoiksi:

- VE1. HKL:n nykymalli
- VE2. Raitioliikenteen nopeusrajoitusten itsenäinen määrittely ja merkintä erotetuilla ja erillisillä radoilla. Katuradoilla noudatetaan ensisijaisesti muun liikenteen nopeusrajoituksia.
- VE3. Raitioliikenteen nopeusrajoitukset merkitty kaikilla radoilla.
- VE4. Rataosakohtaiset nopeusrajoitukset ilmoitettu liikennöintisäännöissä, mahdolliset näistä alaspäin poikkeavat nopeusrajoitukset merkitty kaikilla radoilla.

Haastatteluilla pyrittiin selvittämään näiden vaihtoehtojen keskinäistä paremmuutta, niiden riskejä sekä vahvuuksia. Haastateltavien vastausten keskeiset viestit on sisällytetty osaksi seuraavassa esiteltäviä SWOT-analyysin elementtejä.

Vahvuudet

- VE1: Yksinkertainen ylläpitää; Kaupunkikuvallisesti huomaamaton.
- VE2: Raitioliikenteen omat nopeusrajoitukset määritetty itsenäisesti ja merkitty siellä, missä tarve sekä hyödyt ovat suurimmat.
- VE3: Raitiovaunujen ajonopeudet teoriassa optimaalisia kaikkialla.
- VE4: Pärjätään melko pienellä määrällä nopeusrajoitusmerkkejä, jos radan ja liikenneympäristön geometria on homogeenista rataosuuksittain.

Heikkoudet

- VE1: Rajoitettu informaatio raitiovaunukuljettajille. Ei tue ajoaikojen hajonnan pienentämistavoitteita. Katuradoilla olevia S-kaarteita koskevat nopeusrajoitukset jäävät merkittämättä.
- VE2: Raitiovaunukuljettajien on seurattava kaksia eri nopeusrajoitusmerkkejä rataosuuksista riippuen. Katuradalle saapumista edeltävä jyrkkä kaarre aiheuttaa koordinaatio-

ongelmia autoliikenteen ja raitioliikenteen nopeusrajoitusmerkeissä. Katuradoilla olevia S-kaarteita koskevat nopeusrajoitukset jäävät merkitsemättä.

VE3: Kaupunkikuvallisesti mahdollisesti rauhaton laajalla rataverkolla riippuen siitä, minäkalaisia merkkejä asennetaan ja miten merkit sijoitetaan.

VE4: Ei mahdollista kovinkaan tarkkaa ajonopeuksien säätelyä → Ei tue ajoaikojen hajan pientämistavoitteita.

Mahdollisuudet

VE1: Liikennetelematiikkaa hyödyntävien ratkaisujen käyttöönotto aloitettavissa puhtaalta pöydältä.

VE2: Mahdollistaa osaltaan raitioliikenteen omat nopeusrajoitukset erotetuilla ja erillisillä radoilla. Mahdollistaa myös paikkatietoon perustuvan nopeudenrajoittimen tai ajo-opastusjärjestelmän käytön näillä rataosilla.

VE3: Mahdollistaa paikkatietoon perustuvan nopeudenrajoittimen tai ajo-opastusjärjestelmän käytön raitioliikenteessä kaikilla rataosilla.

VE4: Mahdollistaa paikkatietoon perustuvan nopeusrajoittimen tai ajo-opastusjärjestelmän käytön raitioliikenteessä kaikilla rataosilla.

Uhat

VE1: Potentiaalisia turvallisuusongelmia nopeuksien kasvaessa, koska kaarteisiin ei ole merkitty nopeusrajoituksia. Toisaalta on mahdollista, että loivissa kaarteissa ajetaan tarpeettoman hitaasti.

VE2: Rataluokan vaihtuessa erityisesti erotetulta tai erilliseltä radalta katuradalle, voi raitiovaununkuljettaja unohtaa, että hänen on alettava seuraamaan tieliikenteen nopeusrajoitusmerkkejä. Radan nopeusrajoitukset sovitettava huolellisesti yhteen raidegeometrian, tasoristeysten näkemäalueiden sekä turvalaitesuunnittelun kanssa.

VE3: Nopeusrajoitusmerkkien seuraaminen vie raitiovaununkuljettajan huomiota ja voi aiheuttaa väsymystä → Liikenteen seuraaminen kärsii. Lisäksi nopeusrajoitukset voivat muodostua myös miniminopeuksiksi erityisesti katuradoilla. Radan nopeusrajoitukset sovitettava huolellisesti yhteen raidegeometrian, liikenneympäristön näkemäalueiden ja turvalaitesuunnittelun kanssa.

VE4: Raitiovaununkuljettajan on muistettava ulkoa eri rataosuuksien kattonopeudet, mistä johtuen sekaannuksen mahdollisuus on suuri.

9 Tulosten arviointi ja johtopäätökset

9.1 Rataluokkiin pohjautuva järjestelmä

Luvussa 6 esiteltyjen rataluokkien käyttöönotto Suomessa raitioteiden luokittelussa voisi olla perusteltua, koska tämä sekä helpottaisi suunnittelua että yhdenmukaistaisi turvallisuusratkaisuja eri hankkeiden ja eri raitiotiejärjestelmien välillä. Samoin eri tienkäyttäjär ryhmien oikeusvarmuus onnettomuustapauksissa paranisi, kun tuomioistuimilla olisi edes de facto -standardit, joiden perusteella tuomioistuin voisi arvioida, ovatko liikennejärjestelyt olleet turvallisuuden näkökulmasta asianmukaisia.

Haastattelujen perusteella vaikuttaa siltä, ettei rataluokkiin pohjautuvan turvallisuussuunnittelun käyttöönotolle olisi esteitä. Haasteena on kuitenkin se, että viranomaiset (LVM ja Trafi) eivät haastattelujen perusteella koe tarpeelliseksi antaa tarkkoja säädöksiä raitioliikenteeseen liittyen. Tämän takia tarvitaan hyvää toiminnanharjoittajien välistä yhteistyötä, jotta suunnitteluohjeisiin tulevista turvallisuusratkaisuksista päästäisiin yhteisymmärrykseen. Toiminnanharjoittajien tulisi myös kyetä sopimaan, minkälaisia ratkaisuja suunnitteluohjeisiin ehdotetaan siinä vaiheessa, kun suunnitteluohje laitetaan lausuntokierrokselle sekä siinä vaiheessa, kun se mahdollisesti tuodaan hyväksyttäväksi ja julkaistaan yhden tai useamman toiminnanharjoittajan tai jonkin muun organisaation yhteistyönä. Puolueettomana julkaisijana voisi toimia esimerkiksi Suomen Paikallisliikenneliitto, joka ottaisi tässä vastaavan roolin kuin VDV Saksassa.

Luvussa 6.2 esitelty ratojen luokittelu vaikuttaisi sopivan melko hyvin yhteen sekä Tiehallinnon (Tiehallinto 2009) että Liikenneviraston (Liikennevirasto 2014a) ohjeissa esitettyjen nopeusrajoitusten määrittämisperiaatteiden kanssa. Rataluokkiin A1 ja A2 kuuluvat radat ovat selkeästi erillisiä muusta liikenteestä ja myös rataluokkaan B1 kuuluvat radat erottuvat visuaalisesti viereisestä ajoradasta. Rataluokan B2 tärkein ominaisuus on riittävä sivutiila viereisen ajoradan liikenteeseen, jolloin tämä ei määräisi raitiotien nopeusrajoitusta.

9.2 Kokemukset Tampereen projektista

Tampereen raitiotiehankeesta saatujen kokemusten perusteella olisi tärkeää laatia suunnitteluohjeet erityisesti raitiotien tasoristeysten suunnitteluun, sisältäen muun muassa ohjeita risteävän tien ja kadun geometrian suunnittelusta, tasoristeysten hälytysaikojen laskennasta, tasoristeyksessä vaadittavista turvalaitteista sekä sallituista ajonopeuksista. Näiden suunnitteluohjeiden laatiminen olisi tärkeää kolmesta syystä: 1) raitioteiden tasoristeysten järjestelyt olisivat tienkäyttäjien näkökulmasta yhdenmukaisia kaikissa Suomen raitiotiekaupungeissa, 2) raitioteiden suunnittelijat ja toiminnanharjoittajat voisivat olla varmoja siitä, että on olemassa ennalta turvalliseksi todettuja ratkaisuja sekä 3) jo raitiotien yleisuunnitelmaa tehtäessä olisi tiedossa, minkälaiset ratkaisut ovat hyväksyttäviä ja minkälaiset eivät. Samoin jos raitiotielle suunnitellaan myöhemmin uusia tasoristeyskohtia, niin rataosan sen hetkisen nopeusrajoituksen perusteella tiedettäisiin, mihin paikkoihin uusia tasoristeyskohtia on ylipäänsä mahdollista rakentaa ja minkälaiset turvalaitteet näihin vaadittaisiin.

9.3 SWOT-analyysin keskeiset löydökset

SWOT-analyysin tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että voisi olla parasta merkitä raitio- liikenteen nopeusrajoitukset kaikkialle. Kuitenkin katuratojen kaarteiden osalta voi perustellusti kysyä, onko näihin kaikkiin kuinka tarpeellista merkitä erikseen nopeusrajoitusta, koska erityisesti katujen risteyksissä tehtävissä 90 asteen käännoksissä esimerkiksi Helsingissä raiteen kaarresäde monin paikoin rajoittaa nopeudeksi tällöin 15 km/h (HKL 2010). Toisaalta yleisrajoitukseksi katuratojen kaarteisiin 15 km/h ei käy, koska katuradoilla on yleensä loivempiakin kaarteita, ja tällöin nopeusrajoitusten merkintätapa olisi epälooginen, koska alhaisimmat rajoitukset jätettäisiin merkitsemättä ja taas lähempänä suoralla raiteella sallittavaa nopeutta olevat rajoitukset jouduttaisiin merkitsemään.

Vaihtoehdossa 3 tarvittavien nopeusrajoitusmerkkien määrää on mahdollista osaltaan vähentää määrittelemällä raitiotien toimintaohjeissa poikkeavalle raiteelle osoittavan vaihdeopastimen tarkoittavan 15 km/h tai muuta erikseen sovittavaa nopeusrajoitusta.

9.4 Liikennetelematiikan hyödyntämismahdollisuuksia

Liikennetelematiikkaan perustuvat ratkaisut raitioliiikenteen nopeuden säätelyyn ovat teoriassa kiinnostavia, mutta voidaan myös perustellusti kysyä, kuinka suuri tarve näille ratkaisuille todellisuudessa on. Telematiikkaratkaisujen investointi-, asennus- ja ylläpitokustannukset voivat olla kalliita. Laitteistojen on oltava varmatoimisia ja niiden välittämään tietoon pitäisi pystyä luottamaan.

Eniten hyötyä voisi olla vastaavasta törmäyksenestojärjestelmästä, jollainen on otettu käyttöön esimerkiksi Frankfurtin raitioteilla (Rüffer 2017). Tämä vähentäisi peräänajo-onnettomuuksia, mutta ei vielä poistaisi raitiovaununkuljettajan vastuuta sovittaa nopeutensa edellään kulkevan liikenteen mukaan.

Pysäkkivälien kasvaessa voisi myös olla hyötyä paikkatietoon tai baliiseihin perustuvasta nopeudenrajoittimesta. Baliiseihin perustuva järjestelmä olisi helppo ottaa käyttöön myös erotetuilla radoilla, jos kalustossa on JKV-laitteet rataverkolla ennestään olevien erillisten rataosuuksien takia.

9.5 Tuoreiden eurooppalaisten raitiotiehankeiden kokemusten hyödyntäminen

Pyörää ei kannata tunnetusti keksiä aina uudestaan, joten muualla Länsi-Euroopassa jo käytössä olevaa ohjeistusta kannattaisi hyödyntää mahdollisimman paljon sikäli kun ohjeistus ei ole ristiriidassa suomalaisten säädösten kanssa. Vuoden 2018 syksyn tilanteessa viimeisin uusi raitiotie Länsi-Euroopassa on avattu vuoden 2017 joulukuussa Tanskan Aarhuusiin. Tanskassa ei ole ollut raitioteitä sitten vuoden 1972, jolloin Kööpenhaminasta lakkautettiin raitiotiet. Myös Ranskaan on avattu runsaasti uusia raitioteitä 2000-luvulla.

Eräs hyödyllinen esimerkki löytyy Norjasta, jossa avattiin Bergeniin raitiotie vuonna 2010. Norjassa oli jo ennestään raitiotiet Oslossa ja Trondheimissa, mutta Bergenin raitiotie on toteutukseltaan selvästi modernimpi kuin kumpikaan edellä mainituista raitiotiejärjestelmistä. Bergenin raitiotien toiminnanharjoittaja Bybanen AS on käännättänyt Saksan raitiotieasetuksen (BOStrab) norjaksi ja soveltaa sitä omassa toiminnassaan siten, että BO-

Strabin säädöksiä on sovitettu yhteen Norjan rautateitä koskevan lainsäädännön kanssa (Bybanen 2018b).

Itävallassa on oma versionsa BOStrabista (BMWV 1999) ja tämän selvityksen tekijän tietojen mukaan myös Tanskassa Aarhusin raitiotiellä on alettu soveltamaan BOStrabia.

Saksaksi on myös ilmestynyt runsaasti muun muassa Saksan joukkoliikenteenharjoittajien liiton (VDV) julkaisemia teknisiä suunnittelu-, ylläpito- ynnä muita sellaisia ohjeita, joita kannattaa mahdollisuuksien mukaan hyödyntää. Toisaalta Norjassa ja Tanskassa on jouduttu molemmissa lähtemään lähes nollasta, joten hyödyntämällä näiden maiden kokemuksia modernien raitioteiden suunnittelusta päästään arvioimaan myös BOStrabissa olevaa ohjeistusta hieman kriittisinkin silmin.

9.6 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tarvitaanko erillisiä raitioliikennettä koskevia nopeusrajoituksia?

Kyllä. Mitä voimakkaampaa raitioliikenteen ja muun liikenteen välinen erottelu on, sitä hankalampaa raitiovaunun kuljettajan on havainnoida kadun yleisiä nopeusrajoitusmerkkejä. Erityisesti rataluokkiin A1, A2 ja B1 kuuluvilla rataosuuksilla on käytännössä pakko määritellä ja merkitä erillään muun liikenteen nopeusrajoituksilla. Myös rataluokkaan B2 kuuluvilla radoilla on suositeltavaa merkitä raitioliikenteen nopeusrajoitukset erikseen, jotta rataluokkien johdonmukaisuus säilyy.

Myös katuradoilla (rataluokat C1–C3) voisi olla perusteltua merkitä raitioliikenteen nopeusrajoitukset erikseen, jos raitioliikenteen matka-aikoja tai raitioliikenteen melu- ja tärinähaittoja halutaan optimoida.

Missä olosuhteissa voidaan olettaa kadun yleisen nopeusrajoituksen olevan riittävä merkintätapa?

Katuradoilla kadun yleinen nopeusrajoitus on periaatteessa riittävä myös raitioliikenteelle. Erityisesti kaarteissa olisi kuitenkin hyötyä raitioliikenteen omien tarpeiden perusteella asetetuista nopeusrajoituksista, jotta niistä ajettaisiin täsmällisesti oikealla nopeudella. Samoin vaihteiden poikkeavalle raiteelle joudutaan yleensä asettamaan kadun yleistä nopeusrajoitusta alhaisempi rajoitus, joka voidaan ilmaista myös vaihdeopastimella.

Onko nopeusrajoitusten merkitseminen pistemäisiin kohteisiin riittävää?

Katuradoilla periaatteessa kyllä, erotetuilla ja erillisillä radoilla ei, koska näillä radoilla ei voida olettaa raitiovaunun kuljettajan voivan nähdä kadun yleisiä nopeusrajoitusmerkkejä. Lisäksi raitioliikenteen nopeusrajoitus voi poiketa kadun yleisestä nopeusrajoituksesta ainakin erillisillä radoilla. Vähintäänkin radanpitäjän tai raitioliikenteen turvallisuutta valvovan viranomaisen on määriteltävä riskitarkasteluun perustuen erotetuille ja erillisille radoille suurimmat sallitut nopeudet ja merkittävä nämä nopeusrajoitukset radalle tai määrättävä rataosakohtaiset suurimmat sallitut nopeudet kirjallisesti liikennöintiohjeessa tai vastaavassa asiakirjassa.

Mitä vaikutuksia raitioliikenteen käyttämien ajonopeuksien tason yhtenäistämällä on yleiseen liikenneturvallisuuteen?

Raitioliikenteen ajonopeuksien kuljettaja- ja vuorokohtaisen vaihtelun pienentäminen saattaa hieman haitata kuljettajien reagointiherkkyyttä yllättäviin liikennetilanteisiin, mutta toisaalta esimerkiksi liikennevaloetuuksien suunnittelu helpottuu, kun raitiovaunujen ajonopeuksien hajonta pienenee. Tämä taas parantaa ennakoitavuutta, koska samassa paikassa ajetaan tämän jälkeen aina samalla tavalla. Ja tämä taas vähentää viime hetkellä tapahtuvien jarrutusten tarvetta, joiden takia seisovat matkustajat saattaisivat kaatua raitiovaunussa.

Tarvitaanko raitioliikenteen tasoristeyksiin pistemäisiä nopeusrajoituksia raitioliikenteelle?

Raitiotien tasoristeyksissä suurin turvallinen ajonopeus määräytyy ensisijaisesti radan erottelun, tasoristeyksen näkemäalueiden ja tasoristeyksessä olevien turvalaitteiden perusteella. Eli pistemäiset nopeusrajoitukset tasoristeyksiin eivät ole välttämättömiä, jos radan nopeusrajoitus on tasapainossa edellä mainittujen kriteerien kanssa. Tutkimusaineiston perusteella olisi kuitenkin hyvä arvioida riskiperusteisesti puomien tarpeellisuutta raitiotien tasoristeyksiin radan nopeusrajoituksen ollessa 50 km/h tai yli.

9.7 Jatkotoimenpide-ehdotukset

Eri rataluokat esittelevän yleissuunnitteluohjeen laatiminen

Tämän ohjeen tarkoitus olisi helpottaa esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa raitiotien eri linjausvaihtoehtojen vertailua, koska kullekin rataosuudelle valittavien rataluokkien avulla voitaisiin vertailla eri linjausvaihtoehtojen matka-aikoja, luotettavuutta ja kustannuksia.

Tarkempien suunnitteluohjeiden laatiminen erotetuille ja erillisille rataosille

Kuten kappaleessa 9.2. todetaan, niin useat syyt puoltaisivat suomalaisten suunnitteluohjeiden laatimista erityisesti raitiotien tasoristeyksiä koskien, mutta myös yleisesti erotettuja ja erillisiä ratoja varten. Tasoristeysten lisäksi suunnitteluohjeissa käsiteltäisiin vaadittavaa radan erottelun tasoa, radan turvalaitejärjestelmiä sekä tavoitteellisia ajonopeuksia.

Nopeusrajoitussuunnitelman laatiminen viimeistään raitiotien yleissuunnittelmavaiheessa

Nopeusrajoitussuunnitelman laatiminen raitiotielle mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta ohjaisi osaltaan jatkosuunnittelua siten, että liikenne- ja rakennusministeriön suositusten mukaisesti ja hankkeen tavoitteita mahdollisimman hyvin palveleviksi. Tällöin ei tarvitsisi pohtia esimerkiksi turvalaitekysymyksiä, raiteen kallistuksia tai nopeusrajoituskysymyksiä enää siinä vaiheessa, kun hankkeen rakentaminen on jo pitkällä.

Erilaisten telematiikkaratkaisujen kartoittaminen ja niiden vaikutusten arviointi

Törmäyksenestojärjestelmän hyötyjä raitioliikenteessä voisi olla hyödyllistä tutkia. Paikkatietoon tai balliseihin perustuvia nopeusrajoitusjärjestelmiä kannattaisi siinä vaiheessa, jos raitiotiejärjestelmään ollaan liittämässä jokin muukin paikkatietoon pohjautuva turvallisuuskriittinen ohjausjärjestelmä tai jos raitiotieverkolle tullaan rakentamaan sellaisia uusia tunnelissa tai pitkällä silloilla kulkevia rataosuuksia, joille tarvitaan JKV-järjestelmä.

Lähdeluettelo

Painetut lähteet

Banverket. 2009. Spårväg - Guide för etablering. Borlänge. ISBN 978-91-633-5845-6.

BLFA BOStrab. 1993. Technische Regeln für Straßenbahnen – Trassierung von Bahnen (TRStrab Trassierung). Bund-Länderfachausschuss BOStrab. Saksan liittotasavalta. Annettu 15.06.1993, muutettu 20.08.2014.

BLFA BOStrab. 1996. Vorläufige Richtlinien für die Bemessung des lichten Raumes von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) – (TRStrab Lichtraum). Bund-Länderfachausschuss BOStrab. Saksan liittotasavalta. Annettu 01.12.1996, muutettu 25.03.2015.

BLFA BOStrab. 2008. Technische Regeln für Straßenbahnen – Bemessung und Prüfung der Bremsen von Fahrzeugen (TRStrab Br). Bund-Länderfachausschuss BOStrab. Saksan liittotasavalta. Annettu 01.12.2008, muutettu 06.03.2015.

BMV. 1987. Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab). Bundesministerium für Verkehr. Bonn. Saksan liittotasavalta.

BMWV. 1999. Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über den Bau und den Betrieb von Straßenbahnen (Straßenbahnverordnung 1999 – StrabVO). Wien. Itävalta.

Bybanen. 2018a. Bestemmelser for sikker trafikkavvikling – BST.

Bybanen. 2018b. Regelverk for drift og infrastruktur – RDI.

Fiedler, Joachim. 2005. Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen. 5. Auflage. Darmstadt, Germany. Werner Verlag. ISBN 3-8041-1612-4.

HKL. 2005. Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen, Osaraportti 1, Hankkeen tekninen kuvaus. HKL:n julkaisuja C: 2/2005.

HKL. 2016a. Metroliikenteen toimintaohje MTO 3: Liikennöinti ja opasteet. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos.

HKL. 2016b. Raitioteiden suunnitteluohje. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos.

HKL. 2017. Helsingin kaupungin raitioliikennesääntö. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos.

HKL. 2018. Raitioliikenteen toimintaohje. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos.

HSL. 2011. Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla. Helsinki. HSL:n julkaisuja 4/2011. ISBN 978-952-253-065-3 (nid.). ISBN 978-952-253-066-0 (pdf).

Järvinen, Laura & Viitanen, Jari (toim.). 2014. Rautatieturvalaitteet. Liikenneviraston op-paita 1/2014. Helsinki. ISBN 978-952-255-369-0.

Laaksonen, Mikko. 2008. Turun Raitiotiet. Jyväskylä. Suomi. Kustantaja Laaksonen. ISBN 978-952-99685-9-6.

Liikennevirasto. 2012a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4, Vaihteet. Liikenneviraston oh-jeita 22/2012. Helsinki. ISBN 978-952-255-217-4.

Liikennevirasto. 2012b. Tien suunnittelu tasoristeyksessä. Liikenneviraston ohjeita 3/2012. Helsinki. ISBN 978-952-255-110-8.

Liikennevirasto. 2012c. Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet. Liikenneviras-ton tutkimuksia ja selvityksiä 50/2012. Helsinki. ISBN 978-952-255-226-6.

Liikennevirasto. 2013. Tien suuntauksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 30/2013. Helsinki. ISBN 978-952-255-340-9.

Liikennevirasto. 2014a. Jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu. Liikenneviraston ohjei-ta 11/2014. Helsinki. ISBN 978-952-255-429-1.

Liikennevirasto. 2014b. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6, Turvalaitteet. Liikenneviraston ohjeita 7/2014. Helsinki. ISBN 978-952-255-425-3.

Liikennevirasto. 2015. Liikennöinti valtion rataverkolla. Liikenneviraston ohjeita 23/2015. Helsinki. ISBN 978-952-317-139-8.

Liikennevirasto. 2016a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 17, Radan merkit ja merkinnät. Liikenneviraston ohjeita 8/2016. Helsinki. ISBN 978-952-317-250-0.

Liikennevirasto. 2016b. Rautateiden verkkoselostus 2018. Liikenneviraston väylätietoja 2/2016. Helsinki. ISBN 978-952-317-164-0.

Liikennevirasto. 2018. Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt). Liikenneviras-ton ohjeita 10/2010. Helsinki. ISBN 978-952-317-540-2.

Meristö, Tarja & Molarius, Riitta & Leppimäki, Sami & Laitinen, Jukka & Tuohimaa, Hanna. 2007. Laadukas SWOT - Työkalu pk-yrityksen innovaatiovetoisen tulevaisuuden menestyksen turvaamiseksi. Corporate Foresight Group CoFi / Åbo Akademi. Turku. ISBN: 978-952-12-2028-9.

Raide-Jokeri. 2018. Näkemäperiaatteet Raide-Jokeri hankkeessa. Raide-Jokerin projekti-toimisto. Helsinki.

- Raitiotieallianssi. 2018a. Suunnitteluperusteet Tampereen raitiotielle. Tampereen raitiotieallianssi. Tampere.
- Rakennustietosäätiö RTS. 2010. InfraRYL 2010 Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset, Osa 1: Väylät ja alueet. Rakennustieto Oy. ISBN 978-951-682-958-9.
- Riipinen, Laura. 2015. Viranomaisen rooli kaupunkiraideliikenteessä. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo.
- SFS-EN 15273-1:2013 + A1:2016 "Railway applications. Gauges. Part 1: General. Common rules for infrastructure and rolling stock". Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 242 s.
- STRMTG. 2012. Guide d'implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways / voies routières. Le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés. Grenoble. Ranska.
- TAUT. 2018. Autonomous trams: Why? When? How?. Tramways & Urban Transit. Vol 81. No. 970. S. 374-376.
- TCRP. 1996. Integration of Light Rail Transit into City Streets. TCRP Report 17. Transportation Research Board. Washington. 1996.
- Tiehallinto. 2001. Tasoliittymät – Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinnon julkaisuja TIEH 2100001-01. Helsinki. ISBN 951-726-731-2.
- Tiehallinto. 2009. Nopeusrajoitukset. Tiehallinnon julkaisuja TIEH 2100063–v–09. Helsinki. ISBN 978-952-221-277-1.
- Trafi. 2014. Rautateiden infrastruktuuriosajärjestelmä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin määräys TRAFI/8591/03.04.02.00/2014. Helsinki.
- Trafi. 2015. Käyttötoiminta ja liikenteenhallinta rautatiejärjestelmässä. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin määräys TRAFI/57058/03.04.02.00/2015. Helsinki.
- Trafikkontoret. 2016. Trafiksäkerhetsinstruktion, TRI 2016-10-01, Trafikkontoret, Göteborgs Stad.
- Trivector. 2013. Spårväg och trafiksäkerhet – hur farliga är spårvagnar för oskyddade trafikanter? Trivector Traffic AB. Lund. Ruotsi.
- VDV. 2007. Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland: Local and regional railway tracks in Germany.
- VR. 1987. Junaturvallisuuksääntö. Valtion Rautatiet.
- Vuchic, Vukan R. 2007. Urban transit systems and technology. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-75823-5.

Sähköisessä muodossa olevat lähteet

BMJ. 1997. Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab). Saksan liittotasavallan oikeusministeriö (Deutsche Bundesministerium der Justiz). Bonn. Saksa. Haettu 19.02.2018. Saatavissa http://www.gesetze-im-internet.de/strabbo_1987/

HE. 2017. Hallituksen esitys eduskunnalle tieliikennelaiksi ja eräiksi siihen liittyviksi laeiksi. HE 180/2017 vp. Haettu: 16.08.2018. Saatavissa https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_180+2017.aspx

Kuehn, Axel. 2016. Speed limits for tramways in pedestrian zones and mixed areas - analysis in 4 countries. Esityskalvot. TU1103 Operation and Safety of LRT in interaction with public space. COST - European Cooperation in Science and Technology. Euroopan Unioni. Haettu: 27.02.2018. Saatavissa: http://tram-dev.imadiff.net/IMG/pdf/ak_tramway_in_pedestrian_zones_and_traffic_calmed_areas.pdf

LM. 1982a. Tieliikenneasetus 182/1982. Annettu Helsingissä 05.03.2018. Liikenneministeriö. Haettu 27.02.2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1982/198201821>

LM. 1982b. Tieliikennelaki 1981/267. Annettu Helsingissä 03.04.1981. Liikenneministeriö. Haettu 27.02.2018. Saatavissa: <http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810267#L2P12>

LM. 1988. Liikenneministeriön päätös yleisistä nopeusrajoituksista 263/1988. Liikenneministeriö. Haettu 18.06.2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1988/19880263>

LM. 1992. Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 1257/1992. Liikenneministeriö. Haettu 25.08.2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257>

LVM. 2011. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus näkemäalueista 65/2011. Liikenne- ja viestintäministeriö. Haettu 16.09.2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110065>

LVM. 2015. Laki kaupunkiraideliikenteestä 2015/1412. Liikenne- ja viestintäministeriö. Haettu 05.03.2018. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151412>

LVM. 2018. Tieliikennelaki 2020/XX. Haettu 26.09.2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180729>

Längman, Jyrki. 2007. Ratatyömaa Hämeentiellä Helsingissä ja yhdistetty työmaa ja nopeusrajoitusmerkki. Haettu: 16.09.2018. Saatavissa: <http://vaunut.org/kuva/35971>

Murray-Rust, Alan. 2018. Metrolink tram arriving at East Didsbury. CC BY-SA 2.0. Haettu 16.09.2018. Saatavissa: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Metrolink_tram_arriving_at_East_Didsbury%2C_geograph-4719836-by-Alan-Murray-Rust.jpg

Pertilä, Jaakko. 2016. Kumulatiivinen kartta Helsingin raitioteistä 1890-2016. Haettu 19.02.2018. Saatavissa: <http://www.raitio.org/ratikat/helsinki/radat/kumula/kumula2016.pdf>

Rohrer, Jürg. 2016. Die Trams sollen schneller werden. Tagesanzeiger. [Verkkolehti]. Haettu 08.09.2018. Saatavissa: <https://www.tagesanzeiger.ch/zuerich/stadt/die-trams-sollen-schneller-werden/story/11440362>

UrbanRail.net. 2018. Kartta Bergenin Bybane-raitiotiestä. Haettu 02.08.2018. Saatavissa: <http://www.urbanrail.net/eu/no/bergen/bergen-bybane-map.png>

Julkaisemattomat lähteet

HKL. 2010. Valikoima ratapiirustuksia HKL:n raitiotieverkolta. Selvityksen tekijän kokoelma.

Peltola, Janne. 2010. Raitioliikenteen kaistalta vaadittava kaistan leveys ja muut mitat, kun viereisellä kaistalla (raskaita) ajoneuvoja. Sähköpostiviesti. 09.08.2010.

Peltola, Janne. 2018. Projektimuistiinpanoja Tampereen raitiotiehankkeesta. Selvityksen tekijän kokoelma.

Rüffer, Michael. 2017. We continue driving by line of sight. Esityskalvot. Light Rail Day 2017. Aarhus. 12.09.2017. Selvityksen tekijän kokoelma.

Sainio, Sauli. 2018a. FW: Tampere Tram, crossover operating speed. Sähköpostiviesti. 04.04.2018.

Sainio, Sauli. 2018b. TRT HVV ratikan ajonopeus. Sähköpostiviesti. 09.07.2018.

Raitiotieallianssi. 2018b. Muistiot raitiotien opasteiden suunnittelukokouksista vuosilta 2017 ja 2018. Tampereen raitiotieallianssi.

Haastattelut

Hagberg, Tero. 2017. Liikennepäällikkö. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. Helsinki, PL 1400, 00099 Helsingin kaupunki. Haastattelu 24.08.2017.

Kiiski, Kimmo. 2018. Liikenneneuvos. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. Haastattelu 16.08.2018.

Lähdetie, Artturi. 2017. Yksikön päällikkö. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. Helsinki, PL 1400, 00099 Helsingin kaupunki. Haastattelu 28.08.2017.

Matilainen, Olli. 2018. Tarkastaja. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Helsinki. Haastattelu 14.08.2018.

Myllymäki, Pentti. 2009. Ratapäällikkö. Helsingin kaupungin HKL-liikelaitos, rakennusyksikkö. Helsinki, PL 1400, 00099 Helsingin kaupunki. Haastattelu 23.07.2009.

Liite 1. Göteborgin raitioteillä voimassa olevat pysyvät nopeusrajoitukset

10 km/h

- * ajo ilman ilmajousitusta vaunutyyppillä M29
- * ajo korjaamoalueella

15 km/h

- * ajo varikkoalueella
- * buksierissa katuradalla
- * buksierissa tasoristeyksen, ylityspaikan ja pysäkin kohdalla erotetulla radalla
- * ajo mekaanisesti irroitetuilla tai irtikytketyillä jarruilla varustetulla tyhjentämättömällä vau-
nulla. Poikkeus: Rataosuus Polhemsplatsen – Angered Centrum molempiin suuntiin
- * ajo kaarteessa olevaan vastavaihteeseen ja raideristeykseen ajo-opastimilla (punktsignal)
varustetulla raideosuudella, ellei ole merkitty alhaisempaa rajoitusta
- * ajo ilman vaihdeopastinta olevaan vastavaihteeseen
- * ajo raideosuudelle, jolle pääopastin näyttää opastetta "ajo sallittu näkymien varassa"
- * ajo kaarteessa olevaan vastavaihteeseen, kun vaihdeopastin on päällä
- * ajo vastavaihteeseen, kun vaihdeopastin on pimeänä, tai vaihdeopastin näyttää opastetta
"risti"
- * ajo radio-ohjauksen avulla
- * ajo kaarteessa olevaan raideristeykseen, ellei ole merkitty alhaisempaa rajoitusta
- * ajo kaarteessa olevaan myötävaihteeseen
- * ajo kääntösilmukassa
- * ajo junalla, jossa on enemmän kuin 18 akselia/pyöräparia
- * työn alla olevan ratatyömaan ohitus
- * seuraaville pysäkeille saapuminen tai näiden ohitus: Brunnsparken, Centralstationen, Dom
kyrkan, Grönsakstorget, Kungsportsplatsen, Lilla Bommen, Nordstan sekä Stenpiren

20 km/h

- * katuradalla olevalle pysäkillä saapuminen tai pysäkin ohitus

30 km/h

- * Vallgravenilla seuraavien paikkojen välillä: Göta älvbron/Brogrenen/Centralstationen sekä Kungssportsbron/Pusterviksbron/Vasabron/Viktoriabron

- * pois käytöstä olevan pääopastimen tai ajo-opastimen ohitus ja ajo seuraavalle käytössä olevalle pääopastimelle tai ajo-opastimelle tai opastinohjatun (signalsträcka) rataosuuden päätymismerkille

- * ajo kulunvalvonnalla varustetulla raideosuudella pääopastimen näyttäessä vilkkuvaa keltaista

- * ajo tunnelissa, kun tunnelin valaistus on kytketty päälle

- * ajo raideristeykseen suoralle raiteella, ellei ole merkitty alhaisempaa rajoitusta

- * ajo vastavaihteeseen suoralle raiteelle, kun vaihdeopastin on toiminnassa

- * ajo myötävaihteeseen suoralle raiteelle

- * ajo vaihteisiin ja raideristeykseen kulunvalvonnalla varustetulla rataosalla, ellei ole merkitty alhaisempaa rajoitusta

- * ajo vastavaihteeseen ja raideristeykseen suoralle raiteelle ajo-opastimilla (punktsignal) varustetulla raideosuudella, ellei ole merkitty alhaisempaa rajoitusta

- * erotetulla radalla olevalle pysäkillä saapuminen tai pysäkin ohitus

- * ajo mekaanisesti irroitetuilla tai irtikytketyillä jarruilla varustetulla tyhjentämättömällä tai tyhjennetyllä vaunulla rataosuudella Polhemsplatsen – Angered Centrum molempiin suuntiin

- * seis-opastetta näyttävän pää- tai ajo-opastimen ohitus liikenteenohjauksen antamalla luvalla

- * bukseerissa erotetulla radalla

50 km/h

- * ajo katuradalla

60 km/h

- * ajo erotetulla radalla, myös tasoristeysten kohdalla